

TESIS

**RESPON SEISMIK PROVINSI PAPUA BARAT DAYA
BERDASARKAN ANALISIS BAHAYA SEISMIK
PROBABILISTIK : PETA, KELAS SITUS DAN
FAKTOR AMPLIFIKASI**



INDAH PERMATASARI

24914009

**KONSENTRASI MANAJEMEN REKAYASA KEGEMPAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM MAGISTER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2026

HALAMAN PERSETUJUAN
TESIS

RESPON SEISMIK PROVINSI PAPUA BARAT DAYA
BERDASARKAN ANALISIS BAHAYA SEISMIK
PROBABILISTIK: PETA, KELAS SITUS DAN
FAKTOR AMPLIFIKASI



Prof. Ir. Widodo, MSCE., Ph.D.

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Lalu Makrup, M.T.

Dosen Pembimbing II

HALAMAN PENGESAHAN
TESIS

RESPON SEISMIK PROVINSI PAPUA BARAT DAYA
BERDASARKAN ANALISIS BAHAYA SEISMIK
PROBABILISTIK: PETA, KELAS SITUS DAN
FAKTOR AMPLIFIKASI

Disusun Oleh:
INDAH PERMATASARI
24914009

Telah diuji di depan Dewan Penguji
Pada Tanggal 09 Februari 2026
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Susunan Dewan Penguji

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

Dosen Penguji,

Prof. Ir. Widodo, MSCE.,

Dr. Ir. Lalu Makrup,

Ir. Yunalia Muntafi, S.T.,

Ph.D.

M.T.

M.T., Ph.D. (Eng.), IPM.

Mengesahkan,
Ketua Program Magister Teknik Sipil



Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (magister), baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali tertulis dengan jelas serta dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar Pustaka.
4. Program “*software*” komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh sesuai norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 05 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan,



INDAH PERMATASARI

NIM : 24914009

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin. Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “*Respon Seismik Provinsi Papua Barat Daya Berdasarkan Analisis Bahaya Seismik Probabilistik : Peta, Kelas Situs Dan Faktor Amplifikasi*” dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Rasulullah SAW yang mengantarkan manusia dari zaman kegelapan ke zaman yang terang benderang ini.

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat guna memperoleh gelar Magister pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan tanpa dukungan dari berbagai pihak baik moril maupun materil. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini terutama kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Widodo, MSCE., Ph.D. selaku Dosen pembimbing I, terima kasih banyak telah bersedia membimbing, mengarahkan dan memberikan waktu, nasehat, saran serta pengajaran kepada penulis selama melakukan penelitian ini.
2. Bapak Dr. Ir. Lalu Makrup, M.T. selaku Dosen pembimbing II, terima kasih banyak telah bersedia membimbing, mengarahkan dan memberikan waktu, nasehat, saran serta pengajaran kepada penulis selama melakukan penelitian ini.
3. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), IPM. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan penilaian yang bermanfaat untuk kesempurnaan tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen, laboran, asisten serta staff dan karyawan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan banyak ilmu serta memfasilitasi saya semasa kuliah.
5. Suami saya Muhammad Chairul Bakri, S.AP. terima kasih telah menjadi rumah terbaik dalam setiap lelah dan perjuanganku. Terima kasih atas cinta, doa, dukungan serta kesabaran yang tidak pernah habis.

6. Kedua Orang Tua saya, Bapak Abdul Fatah dan Ibu Rohani serta Mertua saya Bapak Bakri Kati dan Ibu Hj. Hasni Hado yang selalu memberikan doa, dukungan serta semangat tiada henti hingga selesainya tugas akhir ini. Terima kasih banyak atas semua doa dan kasih sayang yang diberikan kepada saya hingga sekarang ini.
7. Kakak saya Indra Sahara, S.H. dan Adik saya Indri Handayani, S.M. serta kakak ipar saya Irmayanti Bakri, S.AN. yang selalu memberikan doa, dukungan dan semangat tiada henti hingga selesainya tugas akhir ini.
8. Seluruh teman-teman Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sorong yang selalu memberikan doa, dukungan dan semangat tiada henti hingga selesainya tugas akhir ini.
9. Teman-teman Magister Teknik Sipil Angkatan 2024 yang senantiasa membantu dan memberi dukungan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu. Saya ucapkan terima kasih banyak yang sebesar-besarnya

Penulis sepenuhnya menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan bahkan kritik yang membangun dari berbagai pihak. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Yogyakarta, 20 Februari 2026

Indah Permatasari

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN TESIS	ii
HALAMAN PENGESAHAN TESIS	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
ABSTRAK	xix
<i>ABSTRACT</i>	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Definisi Operasional.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Tinjauan Umum.....	7
2.1.1 Peta Bahaya Seismik Untuk Pulau Papua	7
2.1.2 Pemetaan Potensi Bahaya di Provinsi Papua Barat	8
2.1.3 Percepatan Tanah Permukaan di Wilayah Riau	12
2.1.4 Koefisien Situs Periode Pendek (Fa) dan Periode Panjang (Fv).....	15
2.1.5 Pengembangan Peta Kelas Situs dan Koefisien Situs	19
2.1.6 Perbandingan 10% dan 2/3 dari 2% PE selama 50 Tahun	23
2.2 Keaslian Penelitian	28
BAB III LANDASAN TEORI.....	39
3.1 Kondisi Tektonik Kota Sorong.....	39
3.2 Gempa Bumi.....	41
3.2.1 Pengertian Gempa Bumi	41
3.2.2 Jenis-jenis Gempa Bumi	42

3.2.3	Parameter Gempa Bumi	43
3.2.4	Model Sumber Gempa	44
3.3	Karakteristik Sumber Gempa	47
3.3.1	Magnitude Maksimum	47
3.3.2	Penentuan Parameter a Berdasarkan <i>Slip-rate</i>	47
3.3.3	<i>Annual Rate</i> dan <i>b-value</i>	48
3.4	<i>Ground Motion Prediction Equation</i> (GMPE).....	48
3.5	<i>Logic Tree</i>	50
3.6	<i>Probabilistic Seismic Hazard Analysis</i> (PSHA)	51
3.7	Menentukan Gerakan Tanah Desain	53
3.8	Deagregasi Bahaya Gempa.....	53
3.9	Respon Spektra Target	54
3.10	<i>Ground Motion Synthetic</i>	55
3.11	Kecepatan Gelombang Geser (V_s)	55
3.12	Respon Dinamika Tanah	56
3.13	Parameter Dinamika Tanah	58
3.14	Perambatan Gelombang	59
3.15	Respon spektra	60
3.16	Amplifikasi.....	61
3.16.1	Amplifikasi Respons Tanah Berdasar Pada Rekaman Gempa	61
3.16.2	Amplifikasi Berdasarkan <i>Ground Response Analysis</i>	62
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		64
4.1	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	64
4.2	Pengumpulan Data Penelitian	64
4.3	Instrument Penelitian.....	64
4.4	Tahapan Analisis	65
4.3.1	Konversi Skala Magnitude.....	65
4.3.2	<i>Declustering</i>	66
4.3.3	Analisis Kelengkapan Data.....	66
4.3.4	Pemodelan Zona Sumber Gempa.....	67
4.3.5	Persamaan Atenuasi (<i>Ground Motion Prediction Equation</i> , GMPE)	67

4.3.6	<i>Logic Tree</i>	68
4.3.7	<i>Analisis Seismic Hazard</i>	70
4.3.8	Deagregasi Hazard Gempa.....	71
4.3.9	Pembuatan <i>Synthetic Ground Motion</i>	71
4.3.10	Analisis Respon Dinamika Tanah.....	71
4.5	Diagram Alir Penelitian.....	72
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....		121
5.1	Data Gempa	121
5.1.1	Konversi Skala Magnitude Gempa	121
5.1.2	Pemisahan Gempa Utama dan Gempa Susulan	122
5.1.3	Analisis Kelengkapan Data Gempa <i>Mc (Magnitude Completeness)</i> 123	
5.2	Identifikasi dan Pemodelan Sumber Gempa	125
5.3	Karakteristik Sumber Gempa	127
5.3.1	Parameter Nilai-a dan Nilai-b	128
5.3.2	Magnitude Maksimum dan <i>Slip Rate</i>	130
5.3.3	Mekanisme Terjadinya Sumber Gempa.....	132
5.3.4	Parameter Pemodelan Tiga Dimensi (3D)	133
5.4	<i>Ground Motion Prediction Equation (GMPE)</i>	134
5.5	<i>Logic Tree</i>	135
5.6	<i>Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)</i>	136
5.7	Deagregasi Hazard.....	153
5.8	Rekaman Gerakan Tanah (<i>Ground Motion</i>).....	154
5.9	<i>Spectral Matching</i>	155
5.10	Kecepatan Gelombang Geser (<i>Vs30</i>)	158
5.11	Analisis Respon Dinamik Tanah	160
5.12	Faktor Amplifikasi	173
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		175
6.1	Kesimpulan.....	175
6.2	Saran.....	177
DAFTAR PUSTAKA		178
LAMPIRAN.....		181

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait	30
Tabel 3. 1 Klasifikasi Kelas Situs Tanah	56
Tabel 3. 2 Korelasi antara G_{max} dengan q_c dalam Artati (2023).	58
Tabel 3. 3 Korelasi antara G_{max} dengan V_s dengan SPT dalam Artati (2023)	59
Tabel 3. 4 Korelasi antara V_s dengan q_c dalam Artati (2023).....	59
Tabel 4. 1 Korelasi konversi antara beberapa skala magnitude untuk wilayah Indonesia (Asrurifak, 2010).	65
Tabel 5. 1 Parameter a dan b	129
Tabel 5. 2 Nilai Magnitude Maksimum dan <i>Slip Rate Subduksi</i>	131
Tabel 5. 3 Nilai Magnitude Maksimum dan <i>Slip Rate Subduksi Sesar</i>	131
Tabel 5. 4 <i>Source Mechanism</i> Sumber Gempa Subduksi dan <i>Shallow Crustal</i> ..	132
Tabel 5. 5 Parameter Permodelan 3D	133
Tabel 5. 6 Hasil <i>Probabilistic Seismic Hazard Analysis</i> (PSHA).....	136
Tabel 5. 7 Hasil Respon <i>Spectral Hazard</i> Seragam.....	137
Tabel 5. 8 Data <i>Time History</i>	155
Tabel 5. 9 Data Pengujian Tanah yang Digunakan untuk Analisis Respon Dinamika Tanah.....	160
Tabel 5. 10 Hasil Perhitungan Parameter Dinamik Tanah.....	160

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peta Tektonik Wilayah Indonesia dari data geodetik hingga tahun 2016, <i>vector</i> kecepatan referensi <i>system</i> ITRF 2008 PuSGeN (2017).....	1
Gambar 2. 1 Peta Kerawanan Gempa Papua dengan PE 10% dalam 50 tahun oleh Makrup dkk.(2018)	7
Gambar 2. 2 Grafik percepatan tanah maksimum di Provinsi Papua Barat pada berbagai periode ulang, Faisol (2020).....	9
Gambar 2. 3 Grafik frekuensi percepatan tanah maksimum setiap tahun di Provinsi Papua Barat, Faisol (2020).....	9
Gambar 2. 4 Peta sebaran percepatan tanah maksimum dan potensi bahaya gempa bumi di Provinsi Papua Barat pada periode ulang 5 tahun, Faisol (2020).....	10
Gambar 2. 5 Peta sebaran percepatan tanah maksimum dan potensi bahaya gempa bumi di Provinsi Papua Barat pada periode ulang 50 tahun, Faisol (2020).....	10
Gambar 2. 6 Peta sebaran percepatan tanah maksimum dan potensi bahaya gempa bumi di Provinsi Papua Barat pada periode ulang 200 tahun, Faisol (2020).....	11
Gambar 2. 7 Peta sebaran percepatan tanah maksimum dan potensi bahaya gempa bumi di Provinsi Papua Barat pada periode ulang 500 tahun, Faisol (2020).....	11
Gambar 2. 8 Peta sebaran percepatan tanah maksimum dan potensi bahaya gempa bumi di Provinsi Papua Barat pada periode ulang 1000 tahun, Faisol (2020).....	12
Gambar 2. 9 Nilai percepatan tanah puncak (PGA) di tanah permukaan, Saputra dkk. (2020).....	13
Gambar 2. 10 Peta percepatan tanah puncak (PGA) di tanah permukaan, (Saputra dkk. (2020).....	14
Gambar 2. 11 Peta percepatan spektra 0.2 detik di tanah permukaan Saputra dkk. (2020).....	14
Gambar 2. 12 Peta percepatan spektra 1,0 detik di tanah permukaan, Saputra dkk. (2020).....	15
Gambar 2. 13 Kecepatan gelombang geser diatas 30m, Vs30 di Daerah Istimewa Yogyakarta, Pawirodikromo dkk. (2019).....	17

Gambar 2. 14 Koefisien situs untuk periode pendek, F_a ($T=0,2$ detik) untuk $PSA < 1.0g$, Pawirodikromo dkk. (2019).....	18
Gambar 2. 15 Koefisien situs untuk periode Panjang, F_v ($T = 1,0$ detik) untuk $PSA < 1.0g$, Pawirodikromo dkk. (2019).....	19
Gambar 2. 16 Peta kontur V_{s30} di Semarang, Partono dkk.(2017).....	21
Gambar 2. 17 Peta kontur kelas situs di Semarang, Partono dkk. (2017).....	21
Gambar 2. 18 Peta kontur FPGA di Semarang, Partono dkk. (2017)	22
Gambar 2. 19 Peta kontur F_a di Semarang, Partono dkk. (2017)	22
Gambar 2. 20 Peta kontur F_v di Semarang, Partono dkk. (2017)	23
Gambar 2. 21 PGA di batuan dasar untuk periode $T=0$ detik dengan 10% PE dalam 50 tahun (kiri) dan untuk periode $T=0$ detik dengan $2/3$ dari 2% PE dalam 50 tahun (kanan), Pawirodikromo dkk. (2018).....	24
Gambar 2. 22 PGA di permukaan untuk periode $T=0$ detik dengan 10% PE dalam 50 tahun (kiri) dan untuk periode $T=0$ detik dengan $2/3$ dari 2% PE dalam 50 tahun (kanan), Pawirodikromo dkk. (2018).....	25
Gambar 2. 23 PGA di batuan dasar untuk periode $T=0.2$ detik dengan 10% PE dalam 50 tahun (kiri) dan untuk periode $T=0.2$ detik dengan $2/3$ dari 2% PE dalam 50 tahun (kanan), Pawirodikromo dkk. (2018)	26
Gambar 2. 24 PGA di permukaan untuk periode $T=0.2$ detik dengan 10% PE dalam 50 tahun (kiri) dan untuk periode $T=0.2$ detik dengan $2/3$ dari 2% PE dalam 50 tahun (kanan), Pawirodikromo dkk. (2018)	26
Gambar 2. 25 PGA di batuan dasar untuk periode $T=1$ detik dengan 10% PE dalam 50 tahun (kiri) dan untuk periode $T=1$ detik dengan $2/3$ dari 2% PE dalam 50 tahun (kanan), Pawirodikromo dkk. (2018).....	27
Gambar 2. 26 PGA di permukaan untuk periode $T=0.2$ detik dengan 10% PE dalam 50 tahun (kiri) dan untuk periode $T=0.2$ detik dengan $2/3$ dari 2% PE dalam 50 tahun (kanan), Pawirodikromo dkk. (2018)	28
Gambar 3. 1 Struktur geologi sekitar Kepala Burung Papua dan Sesar Sorong (Riadini drr., 2009; Riadini dan Sapiie, 2011; Sapiie drr., 2012; Saputra drr., 2014). Peta dasar: Google Earth, Permana & Gaol (2018)	40

Gambar 3. 2 Seismisitas di sekitar Sesar Sorong, Kepala Burung Papua (USGS, 2017) dalam Permana & Gaol (2018)	41
Gambar 3. 3 Magnitude maksimum dan <i>slip-rate</i> dari sumber-sumber gempa sesar di wilayah Maluku-Papua, PuSGeN (2017).....	45
Gambar 3. 4 Model segmentasi dan parameter sumber gempa subduksi (<i>Megathrust</i>) Wilayah Indonesia, PuSGeN (2017).....	46
Gambar 3. 5 Contoh Logic Tree Dalam Analisis Hazard Gempa (Kramer, SL., 1996 dalam Sunardi (2013)).....	51
Gambar 3. 6 (Kiri) Identifikasi sumber-sumber gempa; (Kanan) Menghitung parameter seismik) (PuSGeN, 2017).....	52
Gambar 3. 7 (Kiri) Menghitung Probabilitas Magnitude; (Kanan) Menghitung Distribusi Probabilitas Jarak (PuSGeN, 2017).....	52
Gambar 3. 8 (Kiri) Menghitung Percepatan Maksimum dengan Berbagai Magnitude; (Kanan) Menghitung Ketidakpastian Kejadian Gempa, Basaran, dan Prediksi Percepatan Max PuSGeN (2017).	52
Gambar 3. 9 Pengaruh jenis tanah terhadap perubahan percepatan After Idriss, (1990).....	57
Gambar 3. 10 Pengaruh jenis tanah terhadap bentuk respon spektra (Kramer S.L., 1996)	57
Gambar 3. 11 Pemodelan Lapisan Tanah untuk Perambatan Gelombang 1D	60
Gambar 4. 1 Model <i>Logic Tree</i> untuk Sumber Subduksi	69
Gambar 4. 2 Model <i>Logic Tree</i> untuk Sumber <i>Shallow Crustal</i>	70
Gambar 5. 1 Data Gempa Dari Katalog USGS tahun 1960-2023 Dengan Magnitude $M \geq 5.0$ pada Radius $\leq 500\text{km}$ dari Kota Sorong.	121
Gambar 5. 2 Distribusi Episenter Gempa Bumi Untuk Wilayah Kota Sorong dan Sekitarnya dari Tahun 1960-2023.....	122
Gambar 5. 3 Hasil Analisis Pemisahan Gempa Utama (<i>mainshock</i>) Terhadap Gempa Rintisan (<i>foreshock</i>) dan Gempa Susulan (<i>aftershock</i>) Menggunakan Metode Gardner dan Knopoff (1974)	123
Gambar 5. 4 Analisis Kelengkapan Data <i>Megathrust</i> dan <i>Benioff Philippine</i>	124

Gambar 5. 5 Analisis Kelengkapan Data <i>Megathrust</i> dan <i>Benioff</i> Sorong-Manokwari	124
Gambar 5. 6 Identifikasi dan Pemodelan Sumber Gempa Subduksi di Papua dan Sekitarnya (<i>Megathrust</i> dan <i>Benioff</i>)	125
Gambar 5. 7 Identifikasi pemodelan sumber gempa <i>Shallow Crustal</i>	126
Gambar 5. 8 Letak dua potongan melintang untuk menentukan sudut penunjaman di zona subduksi Papua dan sekitarnya.	126
Gambar 5. 9 Sudut Penunjaman Subduksi Philippine	127
Gambar 5. 10 Sudut Penunjaman Subduksi Sorong-Manokwari	127
Gambar 5. 11 Penentuan Nilai-a dan Nilai-b untuk Zona Subduksi <i>Philippine</i> . 128	
Gambar 5. 12 Penentuan Nilai-a dan Nilai-b untuk Zona Subduksi Sorong-Manokwari.	129
Gambar 5. 13 <i>Seismic Hazard Curve</i> Kota Sorong	137
Gambar 5. 14 Respon <i>Spectral Hazard</i> Seragam Probabilitas Terlampaui (a) 2% (b) 10% dalam 50 Tahun untuk Kota Sorong.....	138
Gambar 5. 15 Peta Percepatan Tanah Puncak (PGA) di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun.....	139
Gambar 5. 16 Peta Percepatan Tanah Puncak (PGA) di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 10% Dalam 50 Tahun.....	140
Gambar 5. 17 Peta Percepatan Respon Spektra 0,2 detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun.....	141
Gambar 5. 18 Peta Percepatan Respon Spektra 0,2 detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 10% Dalam 50 Tahun.....	142
Gambar 5. 19 Peta Percepatan Respon Spektra 1 detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun.....	143
Gambar 5. 20 Peta Percepatan Respon Spektra 1 detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 10% Dalam 50 Tahun.....	144
Gambar 5. 21 Peta Percepatan Tanah Puncak (PGA) di Permukaan Tanah untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun.....	145
Gambar 5. 22 Peta Percepatan Tanah Puncak (PGA) di Permukaan Tanah untuk Probabilitas Terlampaui 10% Dalam 50 Tahun.....	146

Gambar 5. 23 Peta Percepatan Respon Spektra 0,2 detik di Permukaan Tanah untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun	147
Gambar 5. 24 Peta Percepatan Respon Spektra 0,2 detik di Permukaan Tanah untuk Probabilitas Terlampaui 10% Dalam 50 Tahun	148
Gambar 5. 25 Peta Percepatan Respon Spektra 1 detik di Permukaan Tanah untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun	149
Gambar 5. 26 Peta Percepatan Respon Spektra 1 detik di Permukaan Tanah untuk Probabilitas Terlampaui 10% Dalam 50 Tahun	150
Gambar 5. 27 Hasil <i>Deagregasi Hazard</i> Daerah Penelitian	154
Gambar 5. 28 <i>Time History</i> Aktual <i>Coalinga</i>	155
Gambar 5. 29 <i>Time History</i> Aktual <i>Palm Springs</i>	155
Gambar 5. 30 Respon Spektra Target Daerah Penelitian.....	156
Gambar 5. 31 <i>Time History</i> Hasil <i>Matching Coalinga</i>	156
Gambar Gambar 5. 32 <i>Time History</i> Hasil <i>Matching PalmSprings</i>	157
Gambar 5. 33 Perbandingan <i>Time History</i>	157
Gambar 5. 34 Perbandingan <i>Time History</i>	157
Gambar 5. 35 Hasil <i>Spectral Matching Coalinga</i> dan Spektral Target	158
Gambar 5. 36 Hasil <i>Spectral Matching Palm Springs</i> dan Spektral Target	158
Gambar 5. 37 Peta Kecepatan Gelombang Geser (V_{s30}) di Papua Barat Daya .	159
Gambar 5. 38 <i>Soil Profile</i>	161
Gambar 5. 39 Data Sumber Gempa <i>Coalinga</i> sebagai <i>Input Motion</i>	162
Gambar 5. 40 Data Sumber Gempa <i>Palmsprings</i> sebagai <i>Input Motion</i>	162
Gambar 5. 41 Hasil Analisis Lapis pertama Gempa <i>Coalinga</i> (a) <i>Ground Motion</i> (b) <i>Respon Spectra</i>	163
Gambar 5. 42 Hasil Analisis Lapis Kedua Gempa <i>Coalinga</i> (a) <i>Ground Motion</i> (b) <i>Respon Spectra</i>	163
Gambar 5. 43 Hasil Analisis Lapis Ketiga Gempa <i>Coalinga</i> (a) <i>Ground Motion</i> (b) <i>Respon Spectra</i>	163
Gambar 5. 44 Hasil Analisis Lapis Keempat Gempa <i>Coalinga</i> (a) <i>Ground Motion</i> (b) <i>Respon Spectra</i>	164

Gambar 5. 45 Hasil Analisis Lapis Kelima Gempa <i>Coalinga</i> (a) <i>Ground Motion</i> (b) <i>Respon Spectra</i>	164
Gambar 5. 46 Hasil Analisis Lapis Keenam Gempa <i>Coalinga</i> (a) <i>Ground Motion</i> (b) <i>Respon Spectra</i>	164
Gambar 5. 47 Hasil Analisis Lapis Ketujuh Gempa <i>Coalinga</i> (a) <i>Ground Motion</i> (b) <i>Respon Spectra</i>	165
Gambar 5. 48 Hasil Analisis Lapis Kedelapan Gempa <i>Coalinga</i> (a) <i>Ground Motion</i> (b) <i>Respon Spectra</i>	165
Gambar 5. 49 Hasil Analisis Lapis Pertama Gempa <i>Palm Springs</i> (a) <i>Ground Motion</i> (b) <i>Respon Spectra</i>	166
Gambar 5. 50 Hasil Analisis Lapis Kedua Gempa <i>Palm Springs</i> (a) <i>Ground Motion</i> (b) <i>Respon Spectra</i>	166
Gambar 5. 51 Hasil Analisis Lapis Ketiga Gempa <i>Palm Springs</i> (a) <i>Ground Motion</i> (b) <i>Respon Spectra</i>	166
Gambar 5. 52 Hasil Analisis Lapis Keempat Gempa <i>Palm Springs</i> (a) <i>Ground Motion</i> (b) <i>Respon Spectra</i>	167
Gambar 5. 53 Hasil Analisis Lapis Kelima Gempa <i>Palm Springs</i> (a) <i>Ground Motion</i> (b) <i>Respon Spectra</i>	167
Gambar 5. 54 Hasil Analisis Lapis Keenam Gempa <i>Palm Springs</i> (a) <i>Ground Motion</i> (b) <i>Respon Spectra</i>	167
Gambar 5. 55 Hasil Analisis Lapis Ketujuh Gempa <i>Palm Springs</i> (a) <i>Ground Motion</i> (b) <i>Respon Spectra</i>	168
Gambar 5. 56 Hasil Analisis Lapis Kedelapan Gempa <i>Palm Springs</i> (a) <i>Ground Motion</i> (b) <i>Respon Spectra</i>	168
Gambar 5. 57 Hasil Analisis <i>Hysteretic Loops</i> Lapis Pertama (a) <i>Coalinga</i> (b) <i>Palm Springs</i>	169
Gambar 5. 58 Hasil Analisis <i>Hysteretic Loops</i> Lapis Kedua (a) <i>Coalinga</i> (b) <i>Palm Springs</i>	169
Gambar 5. 59 Hasil Analisis <i>Hysteretic Loops</i> Lapis Ketiga (a) <i>Coalinga</i> (b) <i>Palm Springs</i>	169

Gambar 5. 60 Hasil Analisis <i>Hysteretic Loops</i> Lapis Keempat (a) <i>Coalinga</i> (b) <i>Palm Springs</i>	170
Gambar 5. 61 Hasil Analisis <i>Hysteretic Loops</i> Lapis Kelima (a) <i>Coalinga</i> (b) <i>Palm Springs</i>	170
Gambar 5. 62 Hasil Analisis <i>Hysteretic Loops</i> Lapis Keenam (a) <i>Coalinga</i> (b) <i>Palm Springs</i>	170
Gambar 5. 63 Hasil Analisis <i>Hysteretic Loops</i> Lapis Ketujuh (a) <i>Coalinga</i> (b) <i>Palm Springs</i>	171
Gambar 5. 64 Hasil Analisis <i>Hysteretic Loops</i> Lapis Kedelapan (a) <i>Coalinga</i> (b) <i>Palm Springs</i>	171
Gambar 5. 65 Hasil Analisis <i>Gmax</i> dan Damping (a) Lapis Pertama (b) Lapis Kedua	172
Gambar 5. 66 Hasil Analisis <i>Gmax</i> dan Damping (a) Lapis Ketiga (b) Lapis Keempat	172
Gambar 5. 67 Hasil Analisis <i>Gmax</i> dan Damping (a) Lapis Kelima (b) Lapis Keenam	172
Gambar 5. 68 Hasil Analisis <i>Gmax</i> dan Damping (a) Lapis Ketujuh (b) Lapis Kedelapan.....	173
Gambar 5. 69 Hasil Analisa Perambatan Gelombang pada Lapisan Tanah Berdasarkan Kedalaman yang ditinjau (a) PGA gempa <i>Coalinga</i> (b) PGA gempa <i>Palm Springs</i>	174
Gambar 5. 70 Hasil Analisa Perambatan Gelombang pada Lapisan Tanah Berdasarkan Kedalaman yang ditinjau (a) PSA gempa <i>Coalinga</i> (b) PSA gempa <i>Palm Springs</i>	174

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

M_c	= <i>Magnitude Completeness</i>
V_s	= Kecepatan Gelombang Geser
M	= Magnitude Gempa
a-value	= Parameter sumber gempa merupakan perpotongan dengan sumbu y grafik relasi Gutenberg-Richter
b-value	= Parameter sumber gempa merupakan gradien grafik relasi Gutenberg-Richter
ν	= Laju kejadian magnitude gempa pertahun
$P_x(x m,r)$	= Fungsi kerapatan distribusi parameter gempa x berkaitan dengan magnitue gempa M dan jarak site-sumber R
f_M	= Fungsi kerapatan distribusi magnitude
f_R	= Fungsi kerapatan distribusi jarak site-sumber
PGA	= <i>Peak Ground Acceleration</i>
R	= Jarak Sumber Gempa
M_w	= <i>Momen magnitude</i>
M_s	= <i>Surface Wave magnitude</i>
M_L	= <i>Local magnitude</i>
M_B	= <i>Body wave magnitude</i>
GMPE	= <i>Ground Motion Prediction Equation</i>
z	= Kedalaman yang ditinjau
g	= Percepatan
N-SPT	= Jumlah Pukulan

G	= Modulus Geser
H	= Tebal lapisan tanah
D	= Redaman atau damping tanah

ABSTRAK

Papua dan Papua Barat Daya terletak di paling timur wilayah Indonesia. Struktur tatanan lempeng tektonik Papua dan Papua Barat Daya terletak pada pertemuan tiga lempeng kerak bumi yaitu lempeng pasifik, lempeng Hindia-Australia dan lempeng Eurasia. Kondisi ini menyebabkan Papua dan Papua Barat Daya banyak digoncang gempa bumi. Kota Sorong merupakan salah satu kota di Provinsi Papua Barat Daya. Di daerah ini terdapat sesar Sorong yang merupakan retakan besar dalam kerak bumi. Selain Sesar Sorong masih banyak sesar aktif lainnya yang berpotensi menimbulkan gempa di Pulau Papua, seperti halnya Sesar Koor dan Sesar Sorong-Yapen. Hal tersebutlah yang melatarbelakangi peneliti untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai bahaya seismik di Papua Barat Daya.

Penelitian ini merupakan tindak lanjut dari upaya untuk mengidentifikasi bahaya seismik di Papua Barat Daya yang dilakukan berdasarkan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). Tahapan analisis dalam penelitian ini meliputi pengumpulan data gempa, karakterisasi sumber gempa, analisis bahaya gempa agar dapat membuat peta percepatan tanah di batuan dasar dan permukaan untuk probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun. Kemudian dilakukan deagregasi guna mencari magnitude dan jarak dominan untuk melakukan *spectral matching* dan selanjutnya dilakukan analisis respon dinamika tanah untuk mencari faktor amplifikasi, percepatan tanah di permukaan berikut respons spektra.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan periode PGA di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun berkisar antara 0.15 – 0.2g, sedangkan probabilitas 10% dalam 50 tahun berkisar antara 0.05 – 1.2g. Periode 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun berkisar antara 0.3 sampai >3.5g, sedangkan probabilitas 10% dalam 50 tahun berkisar antara 0.2 – 3g. Periode 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun berkisar antara 0.15 – 2g, sedangkan probabilitas 10% dalam 50 tahun berkisar antara 0.05 – 1g. Kemudian periode PGA di permukaan untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun berkisar antara 0.2 – 3.5g, sedangkan probabilitas 10% dalam 50 tahun berkisar antara 0.1 – 3.5g. Periode 0.2 detik di permukaan untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun berkisar antara 0.4 – 3.5g, sedangkan probabilitas 10% dalam 50 tahun berkisar antara 0.25 – 3.5g. Periode 1 detik di permukaan untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun berkisar antara 0.01 – 3.5g, sedangkan probabilitas 10% dalam 50 tahun berkisar antara 0.1 – 2.5g. Klasifikasi kelas situs tanah menunjukkan Provinsi Papua Barat Daya masuk kedalam kelas situs SD, SC dan SB. Dan untuk faktor amplifikasi tanah di Kota Sorong menunjukkan adanya deamplifikasi sebesar 0.8938 untuk amplifikasi PGA serta 0.6415 untuk amplifikasi respon spektra pada gempa Coalinga. Sementara itu, pada gempa Palm Springs deamplifikasi sebesar 0.5203 untuk amplifikasi PGA serta 0.4893 untuk amplifikasi respon spektra. Adapun deamplifikasi tersebut disebabkan oleh kondisi tanah yang sangat lunak di lokasi penelitian.

Kata Kunci : *Probabilistic seismic hazard analysis* (PSHA), deagregasi, *spectral matching*, analisis dinamika tanah

ABSTRACT

Papua and Southwest Papua are located in the easternmost region of Indonesia. The tectonic plate structure of Papua and Southwest Papua lies at the convergence of three major tectonic plates, namely the Pacific Plate, the Indo-Australian Plate, and the Eurasian Plate. This condition causes Papua and Southwest Papua to frequently experience earthquakes. Sorong City is one of the cities in Southwest Papua Province. The region is traversed by the Sorong Fault, which is a major fracture within the Earth's crust. In addition to the Sorong Fault, there are several other active faults with the potential to generate earthquakes on Papua Island, such as the Koor Fault and the Sorong-Yapen Fault. These conditions motivated the researcher to conduct further studies regarding seismic hazards in Southwest Papua.

This study is a continuation of efforts to identify seismic hazards in Southwest Papua using the Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) method. The stages of analysis in this study include earthquake data collection, earthquake source characterization, and seismic hazard analysis to produce ground acceleration maps at bedrock and surface levels for probabilities of exceedance of 2% and 10% within 50 years. Subsequently, deaggregation analysis was carried out to determine the dominant magnitude and distance for spectral matching, followed by dynamic soil response analysis to determine amplification factors, surface ground acceleration, and response spectra.

The results of this study indicate that the Peak Ground Acceleration (PGA) period at bedrock for a 2% probability of exceedance in 50 years ranges from 0.15–0.2g, while for a 10% probability of exceedance in 50 years it ranges from 0.05–1.2g. At a period of 0.2 seconds at bedrock, the values for a 2% probability of exceedance in 50 years range from 0.3 to >3.5g, while for a 10% probability of exceedance in 50 years they range from 0.2–3g. At a period of 1 second at bedrock, the values for a 2% probability of exceedance in 50 years range from 0.15–2g, while for a 10% probability of exceedance in 50 years they range from 0.05–1g. Furthermore, the PGA period at the surface for a 2% probability of exceedance in 50 years ranges from 0.2–3.5g, while for a 10% probability of exceedance in 50 years it ranges from 0.1–3.5g. At a period of 0.2 seconds at the surface, the values for a 2% probability of exceedance in 50 years range from 0.4–3.5g, while for a 10% probability of exceedance in 50 years they range from 0.25–3.5g. At a period of 1 second at the surface, the values for a 2% probability of exceedance in 50 years range from 0.01–3.5g, while for a 10% probability of exceedance in 50 years they range from 0.1–2.5g. The soil site classification indicates that Southwest Papua Province falls into the SD, SC, and SB site classes. In addition, the soil amplification factor in Sorong City indicates a deamplification of 0.8938 for PGA amplification and 0.6415 for spectral response amplification during the Coalinga earthquake. Meanwhile, during the Palm Springs earthquake, the deamplification values were 0.5203 for PGA amplification and 0.4893 for spectral response amplification. This deamplification is attributed to the very soft soil conditions at the study site.

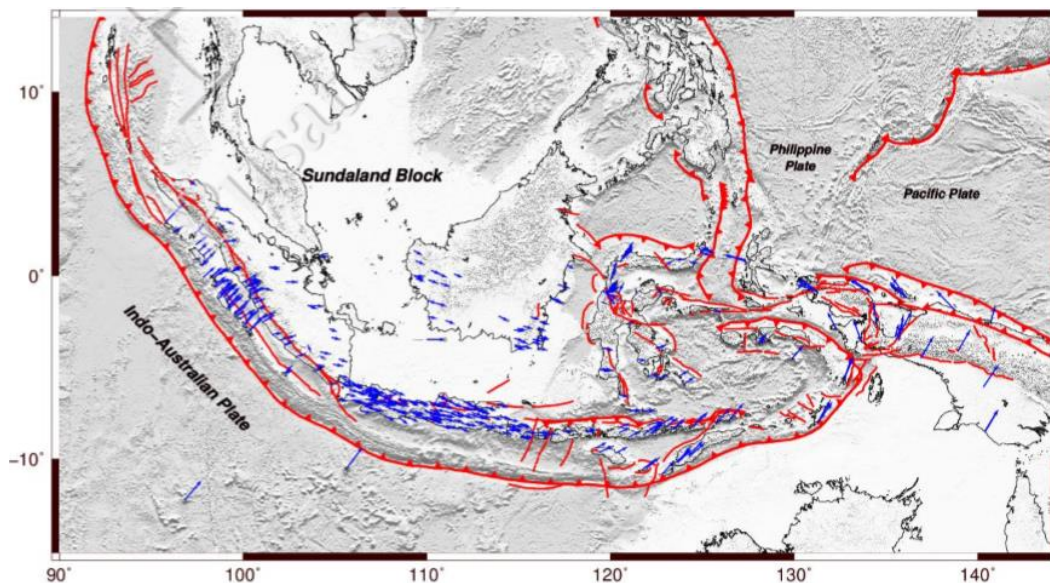
Keywords: Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA), deaggregation, spectral matching, soil dynamic analysis.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia termasuk wilayah rawan gempa bumi karena posisi geografisnya menempati tiga lempeng besar dunia dan sembilan lempeng kecil lainnya yang saling bertemu dan membentuk jalur-jalur pertemuan lempeng yang kompleks. Sehingga interaksi antar lempeng-lempeng ini membuat Indonesia sebagai wilayah rawan gempa bumi. Penelitian lanjutan menggunakan informasi *geodetic*, geologis dan seismologis menunjukkan bahwa tektonik di Indonesia dapat dibagi kedalam beberapa lempeng kecil, yaitu Burma, Sunda, Laut Banda, Laut Maluku, Timor, Kepala Burung, Maoke an Woodlark (PuSGeN, 2017)



Gambar 1. 1 Peta Tektonik Wilayah Indonesia dari data geodetik hingga tahun 2016, *vector* kecepatan referensi *system* ITRF 2008 PuSGeN (2017)

Lewerissa & Manobi (2013) mengatakan bahwa Papua dan Papua Barat Daya terletak di paling timur wilayah Indonesia. Struktur tatanan lempeng tektonik Papua dan Papua Barat Daya terletak pada pertemuan tiga lempeng kerak bumi yaitu lempeng pasifik yang bergerak dari utara relatif ke arah barat menyusup di bawah lempeng Hindia-Australia, dimana lempeng Hindia-Australia menyusup di bawah

lempeng Eurasia disebelah barat Papua dan Papua Barat Daya. Kondisi ini menyebabkan Papua dan Papua Barat Daya banyak digoncang gempa bumi. Berdasarkan nilai parameter *Guttenber-Ritcher*, wilayah Papua dan Papua Barat termasuk kategori daerah dengan tingkat kegempaan yang cukup tinggi. Pada tahun 2018 telah dilakukan penelitian oleh Makrup dkk. (2018) dengan judul Peta Bahaya Seismik Untuk Pulau Papua yang bertujuan untuk mengembangkan peta kerawanan gempa Pulau Papua dengan menggunakan metode Analisis Bahaya Seismik Probabilistik (PSHA). Dengan hasil dari penelitian tersebut yaitu pergerakan tanah di Pulau Papua berkisar antara 0,06g hingga 2,01g dengan tingkat kerawanan 10% kemungkinan terlampaui dalam 50 tahun.

Sina (2002) mengatakan bahwa Kota Sorong merupakan salah satu kota di Provinsi Papua Barat. Di daerah ini terdapat sesar Sorong yang merupakan retakan besar dalam kerak bumi dan selama 40 juta tahun telah melepaskan potongan daratan yang luas dari Papua sebelah utara dan pulau-pulau yang terbentuk karena adanya sesar ini, sesar Sorong bergeser kearah barat melintasi lautan dan menuju kearah Sulawesi. Selain Sesar Sorong masih banyak sesar aktif lainnya yang berpotensi menimbulkan gempa di Pulau Papua, seperti halnya Sesar Koor yang membentang dari Raja Ampat sampai Sorong. Sedangkan batas lempeng tektonik di utara Papua membentuk sesar geser yang terjadi di bagian utara yaitu Sesar Sorong-Yapen.

Pada September 2016, terjadi gempa bumi dengan skala magnitudo sebesar 6,8 SR (Skala Richter) dengan kedalaman 10meter dari permukaan laut dan berjarak 31 km arah timur laut kota Sorong (BMKG, 2016). Gempa ini tergolong gempa besar yang dapat merusak struktur bangunan pada umumnya. Laporan menyebutkan bahwa terdapat sebanyak 62 orang terluka dan 257 rumah rusak. Banyak korban yang harus segera dievakuasi ke rumah sakit terdekat akibat tertimpa reruntuhan bangunan pada gempa ini. Kerugian yang ditimbulkan akibat gempa ini cukup besar. Banyak rumah yang harus direkonstruksi pasca bencana gempa tersebut dalam Saputro & Aris (2018).

Sina (2002) juga mengatakan bahwa gempa yang terjadi pada suatu lokasi diakibatkan oleh adanya pelepasan energi dari pusat gempa, yang kemudian

merambat hingga ke lokasi gempa. Besarnya energi yang sampai ke lokasi akan mempengaruhi besarnya gempa yang terjadi. Analisis pengaruh pelepasan energi dari pusat gempa terhadap lokasi tertentu dikenal dengan *seismic hazard analysis*. *Seismic hazard analysis* akan menghasilkan parameter-parameter gerakan tanah yang berguna bagi *earthquake engineering*, dalam hal ini yaitu desain struktur. *Seismic hazard analysis* bertujuan untuk menentukan suatu batas intensitas gempa tertentu yang berlaku di daerah kajian berdasarkan suatu nilai kemungkinan yang akan terjadi atau terlampaui pada suatu periode tertentu. Metode yang digunakan untuk menentukan batas tersebut adalah Metode Probabilistik – *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) dalam Hutapea & Mangape (2009).

Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan dapat ditentukan dengan melakukan perhitungan *ground motion* (gerakan tanah) dipermukaan. Parameter pergerakan tanah yang diperlukan untuk perencanaan infrastruktur tahan gempa adalah percepatan tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration/PGA*), respon spektra gempa (*seismic response spectra*) dan riwayat waktu percepatan gempa (*Acceleration Time History/TH*). Besarnya PGA, Respon Spektra dan TH dapat ditentukan dengan melakukan analisa perambatan gelombang gempa dari batuan dasar ke permukaan tanah. Pergerakan gelombang gempa dari batuan dasar ke permukaan dipengaruhi oleh kondisi lapisan tanah dimana gelombang gempa merambat. Salah satu cara yang sering dilakukan untuk mencari percepatan gerakan tanah di permukaan adalah dengan menggunakan faktor amplifikasi. Faktor amplifikasi memberikan gambaran tentang perubahan percepatan gerakan tanah dari batuan dasar ke permukaan.

Untuk kebutuhan perencanaan ketahanan gempa struktur bangunan, diperlukan parameter disain berupa parameter percepatan disain di permukaan tanah. Untuk mendapatkan parameter tersebut diperlukan klasifikasi kelas situs, sehingga parameter gempa di batuan dasar atau pada kelas situs B (SB) dapat dikalikan dengan faktor amplifikasi untuk mendapatkan parameter percepatan disain di permukaan tanah. Berdasarkan ASCE 07-2010, klasifikasi kelas situs dapat diperoleh menggunakan salah satu dari 3 (tiga) parameter, yaitu parameter nilai

penetrasi standar, nilai kecepatan gelombang geser atau nilai kuat geser niralir pada tanah dengan ketebalan 30m dari permukaan tanah dalam Aldiamar et al. (2013).

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penulis ingin melakukan penelitian dengan judul “Respon Seismik Provinsi Papua Barat Daya Berdasarkan Analisis Bahaya Seismik Probabilistik : Peta, Kelas Situs Dan Faktor Amplifikasi”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang dapat dirumuskan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana proses dan hasil peta *seismic hazard* di Provinsi Papua Barat Daya berdasarkan hasil PSHA batuan dasar dan permukaan periode PGA, 0,2 detik dan 1 detik dengan probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun dibuat dan didiskusikan ?
2. Bagaimana proses penentuan klasifikasi kelas situs tanah di Provinsi Papua Barat Daya dan pemakaiannya untuk analisis PSHA ?
3. Bagaimana proses penentuan faktor dan kategorisasi amplifikasi serta percepatan di permukaan tanah pada titik yang ditinjau di Kota Sorong?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Menyusun dan mendiskusikan peta *seismic hazard* di Povinsi Papua Barat Daya berdasarkan hasil PSHA batuan dasar dan permukaan periode PGA 0,2 detik dan 1 detk dengan probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun.
2. Memperoleh klasifikasi kelas situs tanah di Provinsi Papua Barat Daya berdasarkan kekuatan getaran gempa bumi akibat efek lokal dan pemakaiannya untuk analisis PSHA.
3. Menenentukan faktor dan kategorisasi amplifikasi serta percepatan di permukaan tanah pada titik yang di tinjau di Kota Sorong.

1.4 Batasan Penelitian

Adapun Batasan-batasan dalam penelitian ini adalah:

1. Daerah penelitian terletak pada wilayah Provinsi Papua Barat Daya.
2. Data gempa yang digunakan adalah data rekaman sejarah kejadian gempa dari tahun 1960 - 2023 yang diperoleh dari katalog USGS.
3. Data gempa yang digunakan adalah data kejadian gempa dengan magnitude $M_w \geq 5,0$ dengan kedalaman gempa ≤ 300 km.
4. Fungsi atenuasi untuk daerah *subduction* digunakan atenuasi dari Youngs (1997) dan Atkinson-Boore (2003). Fungsi atenuasi untuk gempa *shallow crustal* digunakan atenuasi dari Sandigh (1997) dan Boore-Atkinson (2006-NGA), Chiou-Young (2008) NGA.
5. Sumber gempa yang dianalisis sesuai spesifikasi SR Model terbagi dalam beberapa gempa subduksi (*megathrust* dan *Benioff*) serta sumber gempa *shallow crustal (fault)*.
6. Analisis *probabilistic Seismic Hazard* (PSHA) dan analisis deagregasi dilakukan dengan menggunakan *software* SR Model.
7. Percepatan tanah maksimum dipermukaan dihitung dengan analisis PSHA Permukaan dan PSHA Batuan Dasar teramplifikasi dengan probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam waktu 50 tahun.
8. Rekomendasi *ground motion* dibatasi untuk lokasi yang ditinjau.
9. Faktor amplifikasi yang dihitung berdasarkan analisis PSHA hanya ditinjau pada satu titik saja.
10. Analisis *spectral matching* untuk menentukan *ground motion* sintetik di batuan dasar dilakukan dengan bantuan *software* *SeismoMatch*.
11. Respon dinamika tanah dianalisis menggunakan *software* *DeepSoil*.
12. Analisis perambatan gelombang hanya dilakukan pada satu titik yang ditinjau karena keterbatasan data.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini merupakan bagian dari upaya mitigasi bencana gempa di Provinsi Papua Barat Daya. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk menentukan pola tata ruang untuk daerah-daerah yang memiliki risiko tinggi terhadap bahaya gempa, sebagai acuan untuk pembangunan infrastruktur sesuai dengan tingkat kerentanan terhadap bahaya gempa dan untuk menentukan langkah mitigasi saat terjadi gempa.

1.6 Definisi Operasional

Respons Seismik

Respons seismik adalah perilaku tanah, struktur atau bangunan ketika menerima beban dinamis akibat gempa bumi. Saat gelombang gempa merambat dari batuan dasar ke permukaan, tanah dan bangunan akan bergetar sesuai karakteristik masing-masing.

Analisis Bahaya Seismik Probabilistik

Analisis bahaya seismik probabilistik sering juga disebut *Probabilistic seismic hazard analysis* (PSHA). Analisis bahaya seismik probabilistik (PSHA) adalah metode untuk memperkirakan tingkat guncangan gempa di suatu lokasi dengan mempertimbangkan semua kemungkinan sumber gempa, besar magnitudo, jarak ke sumber dan frekuensi kejadian gempa secara probabilistik. Dengan metode PSHA ketidakpastian dalam menentukan parameter-parameter gempa seperti magnitude maksimum, pemilihan persamaan GMPE, pemilihan model (*recurrence model*), dan *reccurence rate* ikut diperhitungkan dengan cara menerapkan konsep *logic tree*.

Metode PSHA adalah metode analisis bahaya gempa *probabilistic* dengan memperhitungkan dan menggabungkan ketidakpastian dari magnitude, lokasi, dan waktu kejadian gempa. Hasil analisis ini berupa probabilitas parameter gempa pada tingkat selesainya periode tertentu.

Faktor Situs

Faktor Situs adalah Koefisien situs tanah seismik didefinisikan sebagai rasio percepatan spektral pada situs dan batuan pada periode yang sama. Koefisien situs empiris menurun dengan meningkatnya tingkat percepatan tanah.

Adapun peta yang dimaksud dalam hal ini adalah peta spektral percepatan tanah akibat gempa pada periode $T = 0$ detik (PGA), $T = 0.2$ detik, $T = 1$ detik di batuan dasar dan permukaan untuk probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun.

Faktor Amplifikasi

Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan, dengan kata lain gelombang seismik akan mengalami perbesaran, jika merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium awal yang dilaluinya. Semakin besar perbedaan itu, maka perbesaran yang dialami gelombang tersebut akan semakin besar. Amplifikasi berbanding lurus dengan periode dominan. Daerah yang memiliki nilai periode dominan tinggi memiliki nilai amplifikasi yang tinggi sehingga tingkat kerentanan terhadap kerusakan akibat gempa buminya juga tinggi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

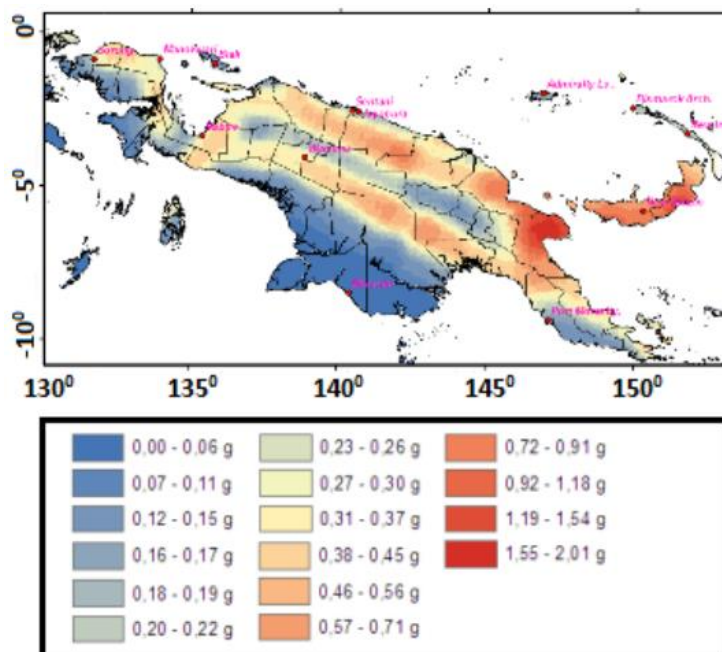
2.1 Tinjauan Umum

Bab ini berisi tentang penelitian terdahulu oleh para peneliti sebelumnya yang meneliti tentang percepatan tanah, klasifikasi kelas situs dan faktor amplifikasi tanah. Penelitian-penelitian tersebut dipaparkan agar dapat mengetahui perbedaan dan persamaan pada penelitian yang akan dilakukan.

2.1.1 Peta Bahaya Seismik Untuk Pulau Papua

Penelitian dengan judul Peta Bahaya Seismik Untuk Pulau Papua oleh Makrup dkk.(2018). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan peta kerawanan gempa Pulau Papua dengan *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) dengan menggunakan model Sumber gempa tiga dimensi (*Fault Source*).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini adalah jarak dari sumber ke lokasi, magnitudo dan kondisi tektonik sumber.



Gambar 2. 1 Peta Kerawanan Gempa Papua dengan PE 10% dalam 50 tahun oleh Makrup dkk.(2018)

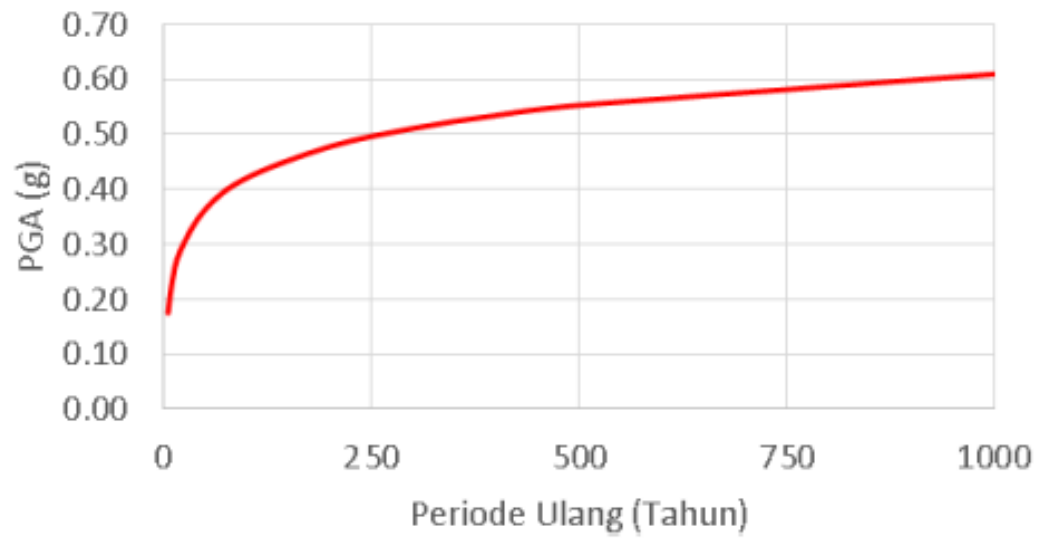
Hasil dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.1 yang dimana peta kerawanan gempa di Pulau Papua dengan tingkat kerawanan 10% kemungkinan pelampauan selama 50 tahun menunjukkan bahwa pergerakan tanah di Pulau Papua berkisar antara 0,06g hingga 2,01g. Penelitian ini hanya bertujuan untuk mengembangkan peta kerawanan gempa Pulau Papua, tidak melakukan penelitian tentang klasifikasi kelas situs dan faktor amplifikasi tanah di Provinsi Papua Barat.

2.1.2 Pemetaan Potensi Bahaya di Provinsi Papua Barat

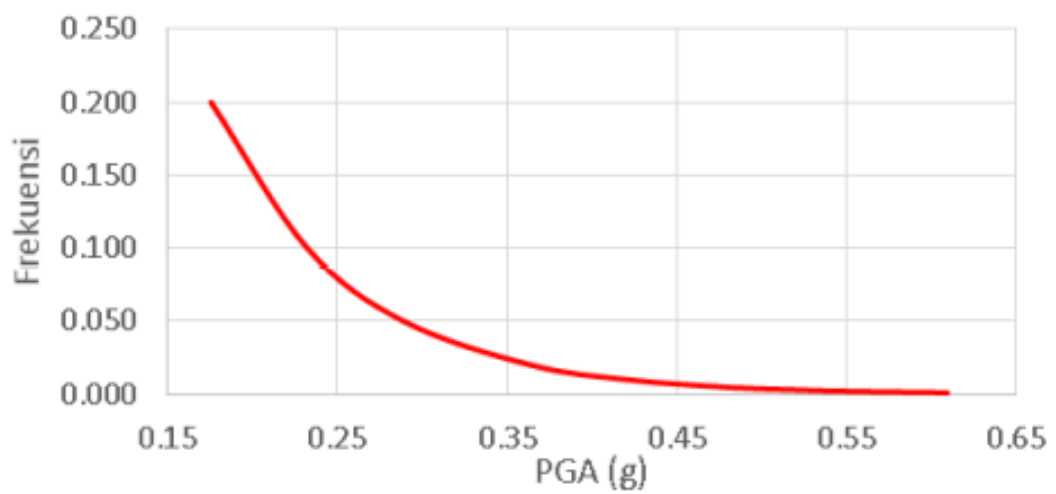
Penelitian dengan judul Pemetaan Potensi Bahaya Gempa di Provinsi Papua Barat Menggunakan Metode Percepatan Tanah Maksimum dan *Point Source Analysis* oleh Faisol (2020). Penelitian ini bertujuan untuk memetakan potensi bahaya gempa bumi di Provinsi Papua Barat.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode percepatan tanah maksimum dan *point source analysis* yang dikombinasikan dengan distribusi Gumbel. Adapun data-data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data kejadian gempa mulai dari tahun 1970-2017 yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dan *United States Geological Survey* (USGS) untuk wilayah Papua Barat dan sekitarnya.

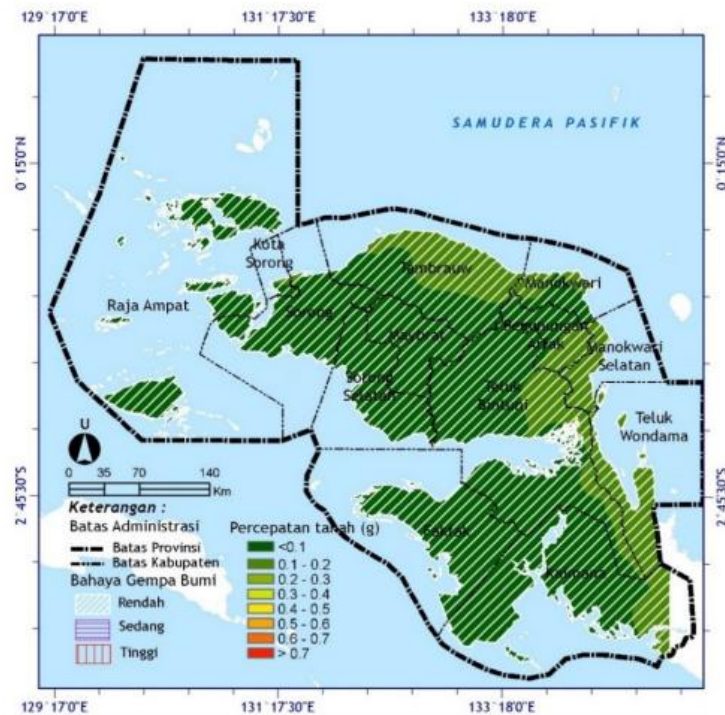
Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai percepatan tanah maksimum di Provinsi Papua Barat pada berbagai periode ulang $< 0,70$ g, sehingga memiliki potensi bahaya gempa bumi rendah hingga sedang yang dapat dilihat pada gambar 2.2. Nilai percepatan tanah maksimum terendah sebesar 0,18 g dengan frekuensi kejadian 0,20 atau 20% setiap tahun dan nilai percepatan tanah maksimum tertinggi 0,61 dengan frekuensi kejadian 0,001 atau 0,1% dapat dilihat pada gambar 2.3. Wilayah yang memiliki potensi bahaya gempa bumi cukup tinggi umumnya berada dibagian pantai utara, hal ini disebabkan adanya sejumlah sesar yang dapat dilihat pada gambar 2.4 sampai 2.8.



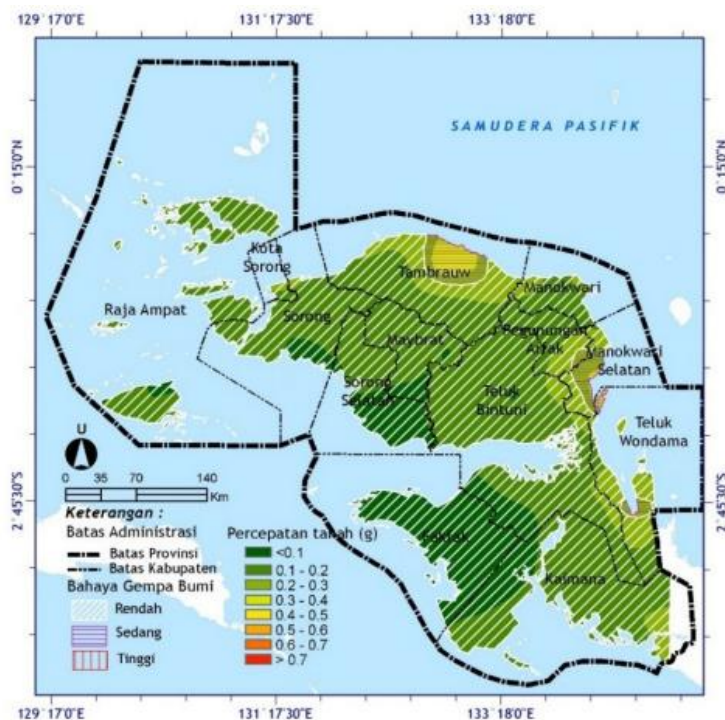
Gambar 2. 2 Grafik percepatan tanah maksimum di Provinsi Papua Barat pada berbagai periode ulang, Faisol (2020)



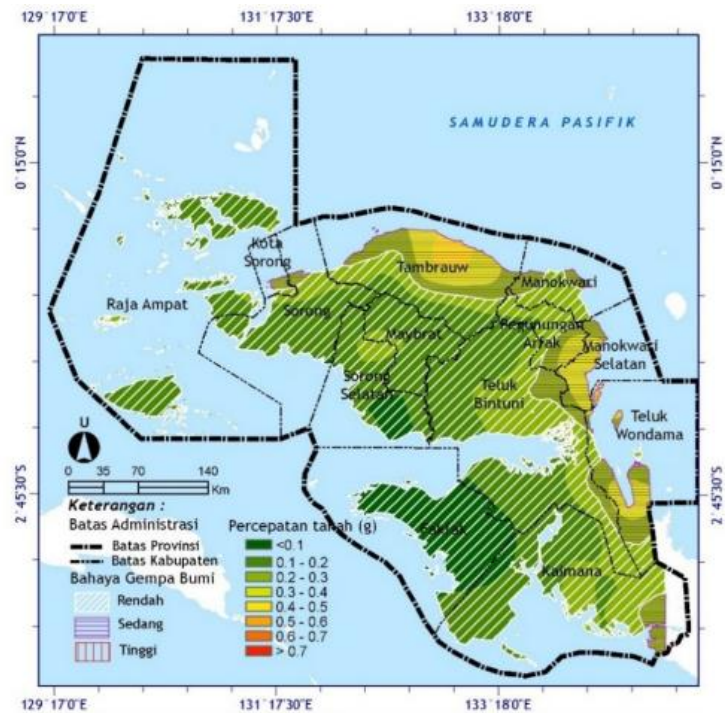
Gambar 2. 3 Grafik frekuensi percepatan tanah maksimum setiap tahun di Provinsi Papua Barat, Faisol (2020)



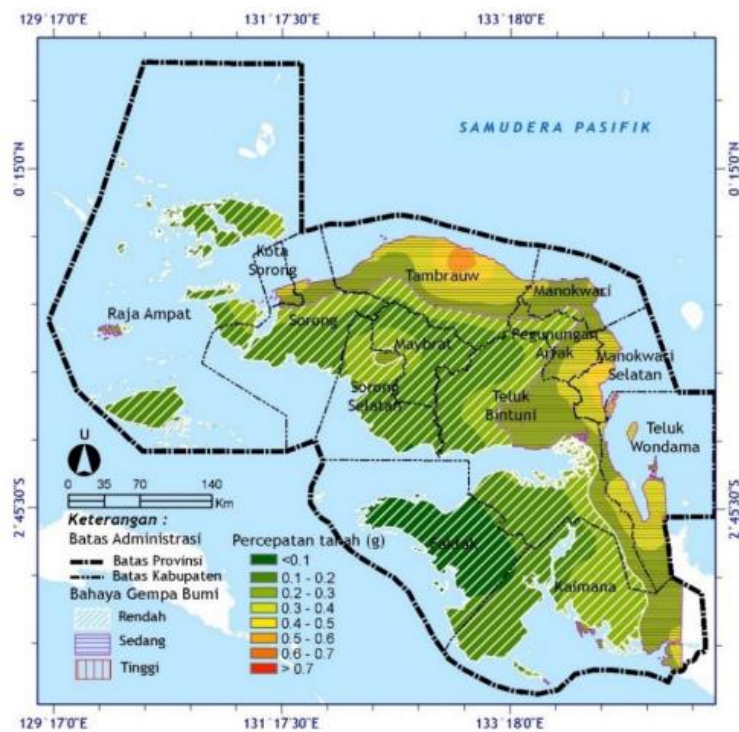
Gambar 2. 4 Peta sebaran percepatan tanah maksimum dan potensi bahaya gempa bumi di Provinsi Papua Barat pada periode ulang 5 tahun, Faisol (2020)



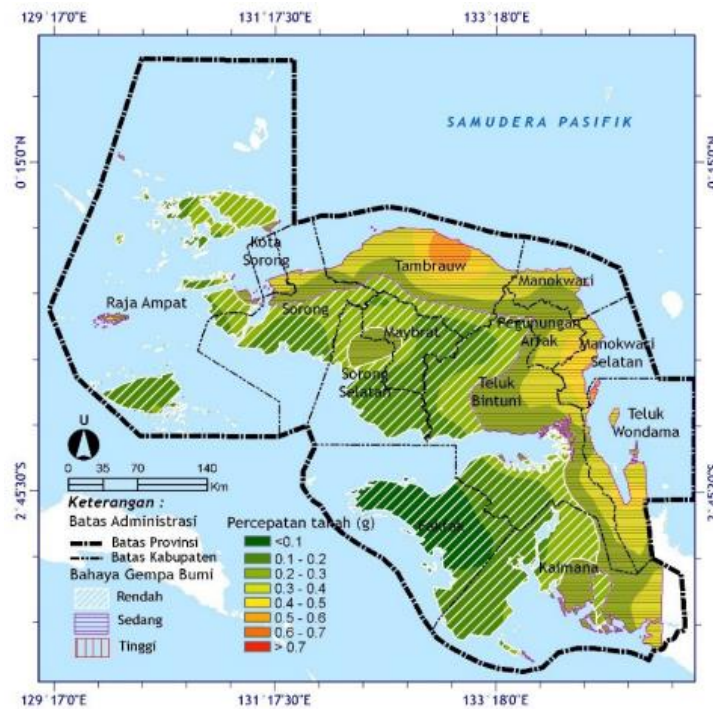
Gambar 2. 5 Peta sebaran percepatan tanah maksimum dan potensi bahaya gempa bumi di Provinsi Papua Barat pada periode ulang 50 tahun, Faisol (2020)



Gambar 2. 6 Peta sebaran percepatan tanah maksimum dan potensi bahaya gempa bumi di Provinsi Papua Barat pada periode ulang 200 tahun, Faisol (2020)



Gambar 2. 7 Peta sebaran percepatan tanah maksimum dan potensi bahaya gempa bumi di Provinsi Papua Barat pada periode ulang 500 tahun, Faisol (2020)



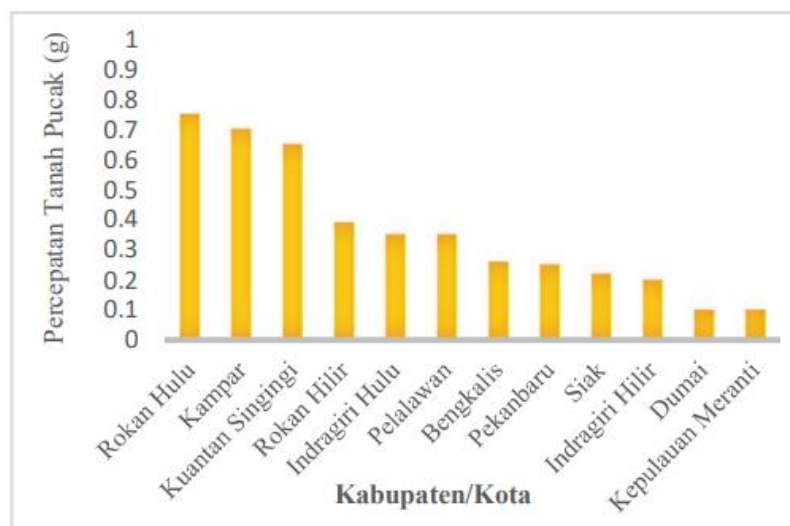
Gambar 2. 8 Peta sebaran percepatan tanah maksimum dan potensi bahaya gempa bumi di Provinsi Papua Barat pada periode ulang 1000 tahun, Faisol (2020).

2.1.3 Percepatan Tanah Permukaan di Wilayah Riau

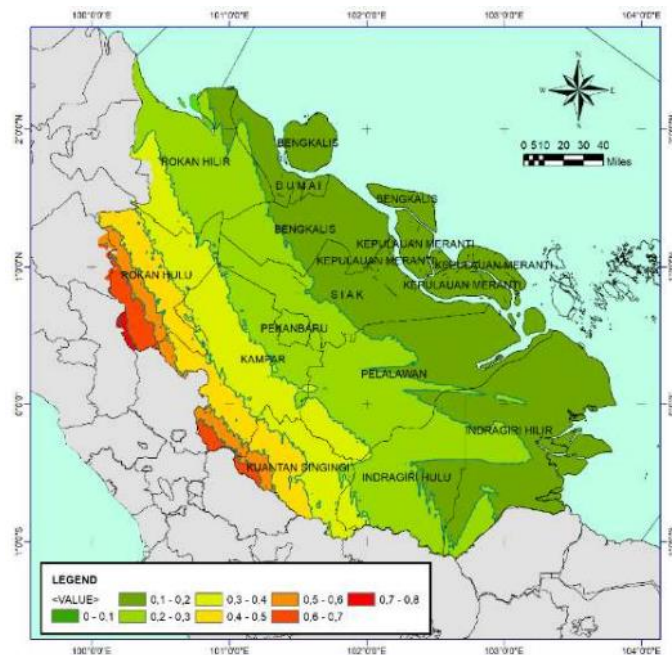
Penelitian dengan judul Analisis Percepatan Tanah Permukaan Di Wilayah Riau Dengan Metode PSHA oleh Saputra dkk.(2020). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai percepatan tanah di permukaan untuk berbagai Kabupaten atau Kota di Provinsi Riau.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). Adapun data-data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data historis kejadian gempa dari tahun 1963 sampai tahun 2019 yang diperoleh dari USGS dengan luas wilayah pengambilan dibatasi pada radius 200 km dari batas administrasi Provinsi Riau atau wilayah dengan batas koordinat 97.02 BT - 103.023 BT dan -3.90 LS – 2.96 LS. Ketentuan data yang digunakan adalah data kejadian gempa dengan magnitude minimal 5 dan kedalaman maksimum 300 km.

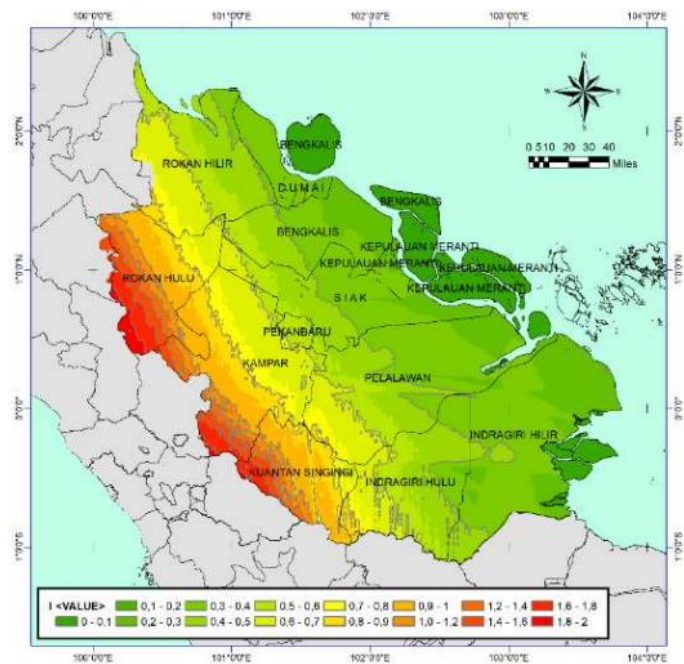
Hasil dari penelitian tersebut dapat dilihat pada gambar 2.9 dan 2.10 dimana nilai dan peta percepatan tanah permukaan di Provinsi Riau pada percepatan tanah puncak (PGA) berada pada rentang 0.097 – 0,78g. Kemudian pada periode 0.2 detik dengan nilai percepatan tanah berada pada rentang 0.204 – 1.943g dapat dilihat pada gambar 2.11 serta pada periode 1 detik nilai percepatan tanah permukaan berada pada rentang 0.176 – 1.155 g dapat dilihat pada gambar 2.12. Kabupaten yang memiliki jarak lebih dekat dengan jalur Sesar Sumatera memiliki nilai percepatan lebih tinggi yaitu Kabupaten Rokan Hulu dengan percepatan maksimum sebesar 0.78g, Kabupaten Kampar dengan percepatan maksimum 0.72g dan Kabupaten Kuantan Singingi sebesar 0.62g. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa 3 Kabupaten tersebut memiliki risiko gempa lebih tinggi dari Kabupaten lainnya. Dengan diperolehnya nilai percepatan tanah pada setiap Kabupaten atau Kota yang ada di Provinsi Riau, maka dapat dijadikan rujukan oleh pemerintah provinsi maupun pemerintah Kabupaten dalam merencanakan pola tata ruang berbasis mitigasi bencana gempa.



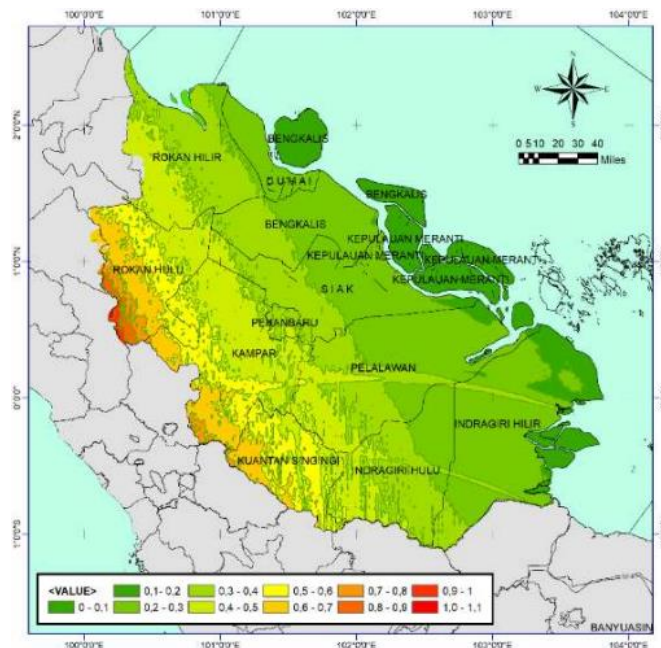
Gambar 2. 9 Nilai percepatan tanah puncak (PGA) di tanah permukaan, Saputra dkk. (2020)



Gambar 2. 10 Peta percepatan tanah puncak (PGA) di tanah permukaan, (Saputra dkk. (2020)



Gambar 2. 11 Peta percepatan spektra 0.2 detik di tanah permukaan Saputra dkk. (2020)



Gambar 2. 12 Peta percepatan spektra 1,0 detik di tanah permukaan, Saputra dkk. (2020)

Pada penelitian ini klasifikasi kelas situs dan faktor amplifikasi belum diteliti, hanya meneliti tentang percepatan tanah. Disamping itu penelitian ini dilakukan di lokasi berbeda yaitu provinsi Riau.

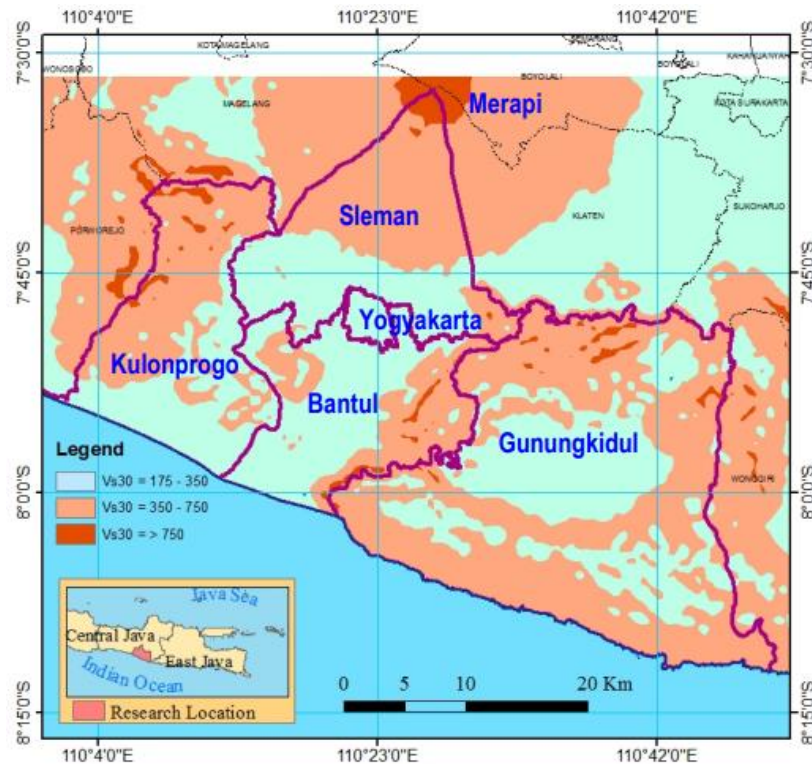
2.1.4 Koefisien Situs Periode Pendek (F_a) dan Periode Panjang (F_v)

Penelitian dengan judul *Site Coefficient of Short F_a and Long period F_v Maps Constructed from the Probabilistic Seismic Hazard Analysis in Yogyakarta Special Province* oleh Pawirodikromo dkk. (2019). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan peta koefisien situs di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). Adapun data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kejadian gempa yang terjadi dari tahun 1963 hingga 2017 dalam radius 500 km dari Kota Yogyakarta. Data gempa yang diambil adalah gempa bumi dengan magnitude lebih besar dari M 5.0 dengan kedalaman kurang dari 700 km. Hasil dari penelitian tersebut yaitu:

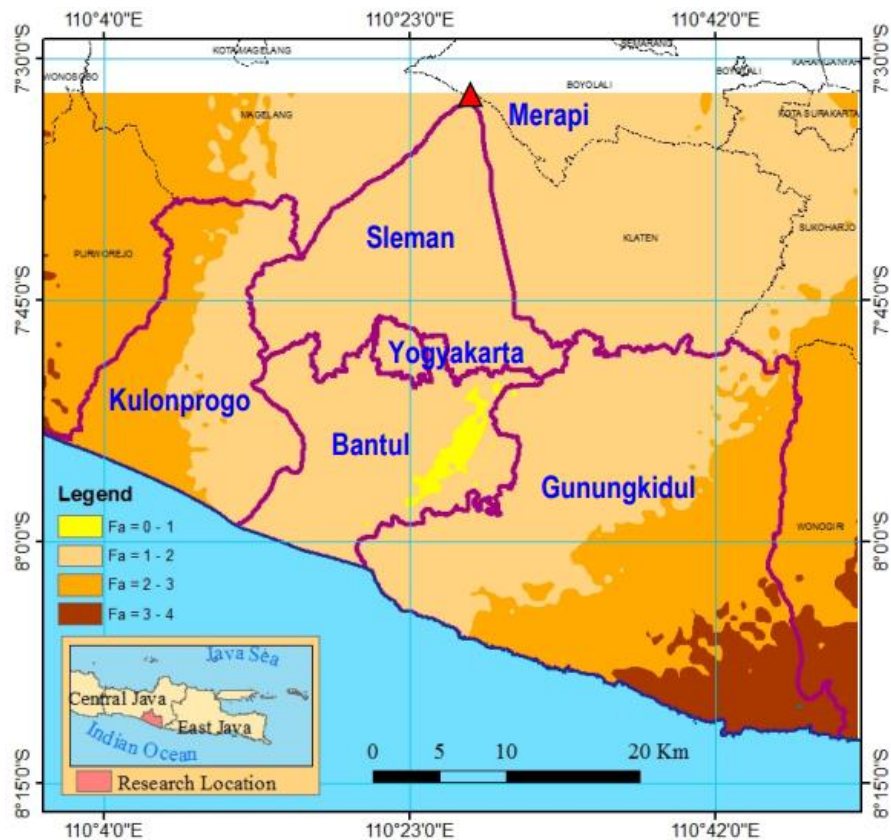
1. Menurut katalog USGS, kategori tanah SD atau tanah sedang berada sepanjang lembah sungai Opak dan Progo, serta pesisir Bantul dan Kabupaten Kulonprogo dan di bagian tengah Kabupaten Gunungkidul. Sementara itu, Jenis tanah keras atau SB terletak di lereng Merapi bagian barat Kabupaten Kulonprogo dan sepanjang tepi Kabupaten Gunungkidul.
2. Koefisien situs pada periode pendek atau F_a dipengaruhi oleh tanah sedimen pada Lembah sungai Opak atau sangat dipengaruhi oleh aktivitas sesar Opak sebagai sumber seismik. Untuk $PSA < 1.0g$, semakin jauh jarak sejajar dengan sesar Opak, koefisien situs untuk periode pendek F_a akan lebih besar. Sementara itu, koefisien situs untuk periode panjang F_v tampaknya sangat dipengaruhi oleh aktivitas gempa di megathrust. Hal ini terjadi karena nilai F_v yang besar terjadi di sepanjang pantai selatan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta sejajar dengan batas lempeng Australia.
3. Hubungan antara koefisien situs F_a dan F_v dengan V_{s30} tampaknya berserakan. Ditemukan bahwa koefisien seismik F_a untuk periode pendek meningkat dengan bertambahnya V_{s30} , sedangkan untuk periode panjang koefisien seismik F_v menurun dengan meningkatnya V_{s30} .

Dapat dilihat pada gambar 2.13 bahwa secara umum Daerah Istimewa Yogyakarta hanya terdiri dari 3 kelas situs, yaitu: situs kelas B di sekitar puncak Gunung Merapi, situs kelas C di lereng Merapi di Sleman, Kabupaten Kulon Progo bagian barat dan Kabupaten tepi Gunung Kidul. Sedangkan situs kelas D terletak di bagian selatan Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, Kabupaten Bantul, Kabupaten Kulon Progo bagian selatan dan bagian tengah Kabupaten Gunung Kidul.



Gambar 2. 13 Kecepatan gelombang geser diatas 30m, Vs30 di Daerah Istimewa Yogyakarta, Pawirodikromo dkk. (2019)

Koefisien situs untuk periode Pendek $T = 0,2$ detik atau F_a untuk percepatan spektral semu (PSA) kurang dari $1.0g$ di Daerah Istimewa Yogyakarta dan sekitarnya disajikan dalam bentuk peta yang dapat dilihat pada gambar 2.14. koefisien situs diturunkan berdasarkan PSHA dengan tingkat kerawanan 2% kemungkinan pelampauan selama 50 tahun. Pada gambar tampak bahwa koefisien situs untuk periode pendek dibagi menjadi 4 kelompok, yaitu nilai F_a terendah = 1 – 2 terletak di sepanjang patahan Opak. Hal ini disebabkan oleh PSA besar di batuan dasar dekat patahan, sedangkan distribusi PSA di permukaan tanah tidak sama dengan di batuan dasar. Oleh karena itu nilai F_a di dekat sesar menjadi yang terkecil dan membesar pada jarak yang lebih jauh dari sesar. Dapat dilihat pada gambar bahwa Sebagian besar wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta memiliki $F_a = 1-2$, terutama di wilayah dengan situs kelas D.



Gambar 2. 14 Koefisien situs untuk periode pendek, F_a ($T=0,2$ detik) untuk $PSA < 1.0g$, Pawirodikromo dkk. (2019)

Sedangkan koefisien situs untuk periode Panjang $T = 1,0$ detik atau F_v disajikan pada gambar 2.15. jika gambar 2.14 dan 2.15 dibandingkan, menunjukkan bahwa distribusi nilai F_a dan F_v sangat berbeda. Jelas dari gambar hanya ada 2 kelompok utama yang Sebagian besar wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta, terutama wilayah utara yang memiliki koefisien situs $F_v = 2-3$, sedangkan wilayah selatan memiliki koefisien situs yang lebih besar, $F_v = 3-4$. Hasil ini mungkin karena efek jarak dari mekanisme gempa Megathrust, kaena tingginya nilai F_v di sepanjang pantai selatan Daerah Istimewa Yogyakarta paling dekat dengan sumber gempa Megathrust.



Gambar 2. 15 Koefisien situs untuk periode Panjang, F_v ($T = 1,0$ detik) untuk $PSA < 1.0g$, Pawirodikromo dkk. (2019)

Penelitian diatas hanya meneliti tentang koefisien situs F_a dan F_v namun tidak meneliti tentang faktor amplifikasi.

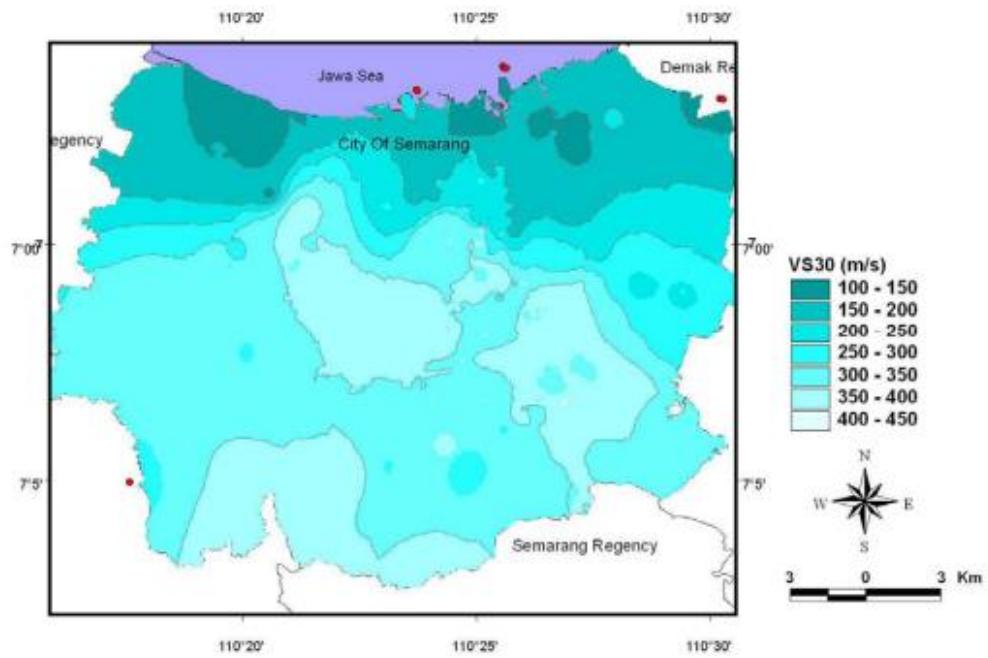
2.1.5 Pengembangan Peta Kelas Situs dan Koefisien Situs

Penelitian dengan judul *Development Of Site Class And Site Coefficient Map* oleh Partono dkk. (2017). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi lengkap tentang V_{s30} , kelas situs dan distribusi koefisien situs untuk seluruh wilayah kota Semarang guna mengembangkan peta kelas situs dan koefisien situs.

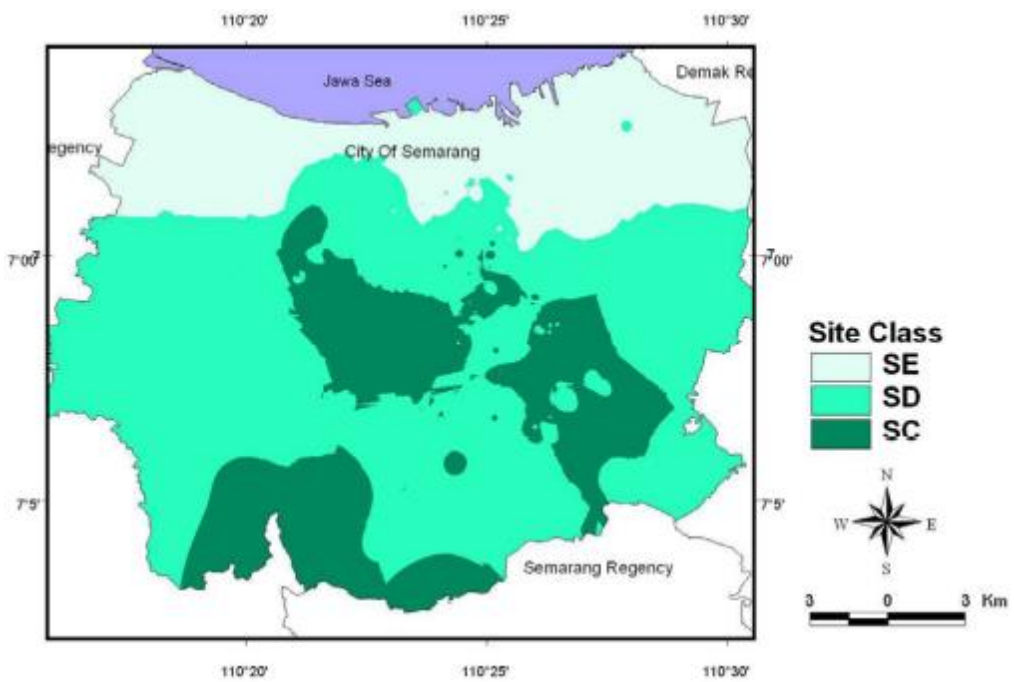
Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Analisis Bahaya Seismik Probabilitas (PSHA) yang dilakukan untuk mendapatkan percepatan tanah puncak (PGA) probablistik dan percepatan spektral untuk periode pendek (0,2 detik) dan periode panjang (1,0 detik) pada elevasi batuan dasar. Percepatan respons spektral pada batuan dasar dihitung untuk probabilitas pelampauan 2% dalam 50 tahun (periode ulang gempa 2500 tahun). Adapun data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah n data gempa yang tercatat untuk seluruh wilayah Indonesia

dari tahun 1900 sampai tahun 2013, 2) pemodelan zona sumber gempa, 3) penentuan parameter gempa yang meliputi nilai a_b , magnitudo maksimum, dan slip-rate, 4) pemilihan fungsi redaman yang sesuai dan 5) pelaksanaan PSHA.

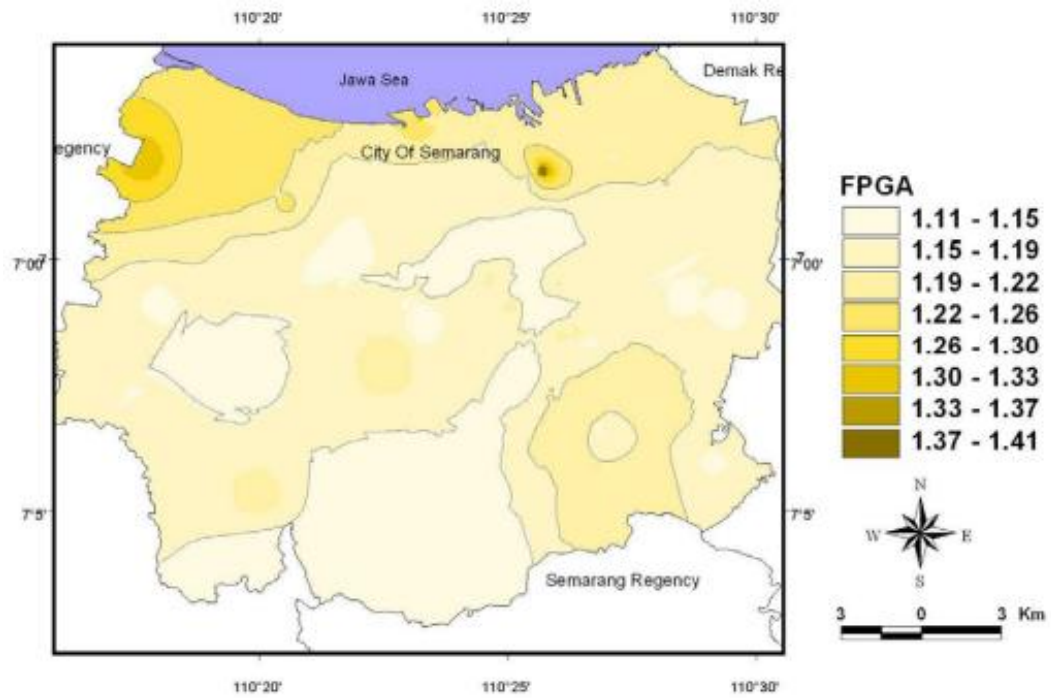
Hasil dari penelitian ini yaitu Peta kelas situs dan koefisien situs Semarang diimplementasikan berdasarkan nilai V_{s30} yang diprediksi di 265 lokasi. Koefisien situs diimplementasikan menggunakan PSHA dengan melakukan dua model PSHA. Nilai V_{s30} yang digunakan dalam penelitian ini diprediksi menggunakan data N-SPT. Dapat dilihat pada gambar 2.16, nilai V_{s30} maksimum diamati di bagian tengah dan selatan Semarang sedangkan nilai V_{s30} terendah ditemukan di bagian utara wilayah studi. Distribusi nilai V_{s30} memiliki korelasi yang baik dengan distribusi kelas situs sehingga dapat dilihat pada gambar 2.17. Dengan menggunakan distribusi V_{s30} untuk seluruh wilayah studi, situs kelas SD dan SC diidentifikasi di sepanjang bagian tengah dan selatan kota, sehingga situs kelas SE diidentifikasi di sepanjang bagian utara wilayah studi. Distribusi koefisien situs memiliki korelasi yang baik dengan distribusi kelas situs. Koefisien situs F_{PGA} , F_a dan F_v terendah diidentifikasi di bagian tengah dan selatan daerah penelitian, sehingga F_{PGA} , F_a dan F_v tertinggi diidentifikasi di bagian utara daerah penelitian. Berdasarkan dua model perbedaan PSHA dapat dilihat bahwa nilai F_{PGA} , F_a dan F_v dapat dengan mudah diprediksi dengan membandingkan percepatan tanah puncak dan percepatan spektral yang dihitung menggunakan PSHA dengan melakukan V_{s30} nyata situs dan $V_{s30} = 760$ m/s. Dapat dilihat pada gambar 2.18, 2.19 dan 2.20.



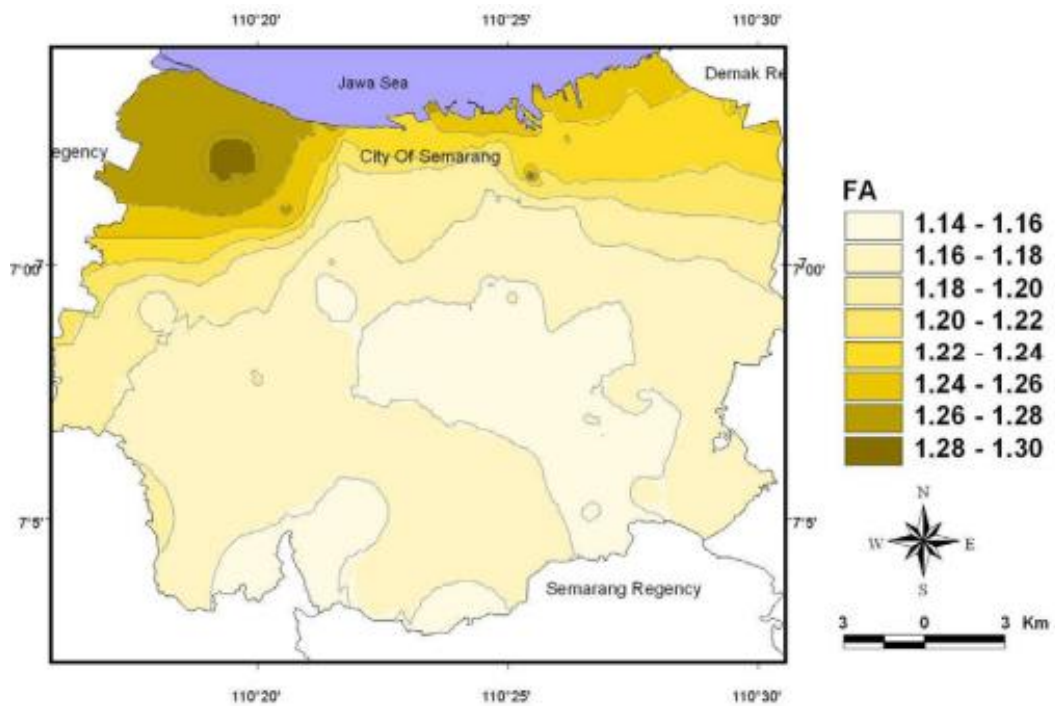
Gambar 2. 16 Peta kontur Vs30 di Semarang, Partono dkk.(2017)



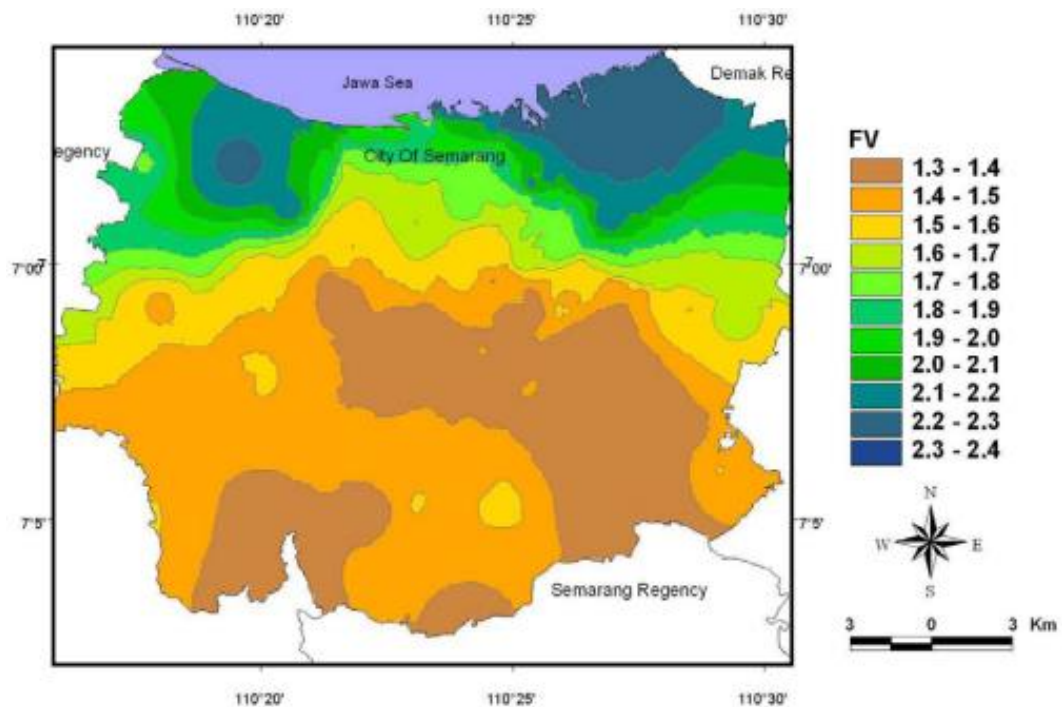
Gambar 2. 17 Peta kontur kelas situs di Semarang, Partono dkk. (2017)



Gambar 2. 18 Peta kontur FPGA di Semarang, Partono dkk. (2017)



Gambar 2. 19 Peta kontur Fa di Semarang, Partono dkk. (2017)



Gambar 2. 20 Peta kontur Fv di Semarang, Partono dkk. (2017)

Penelitian ini hanya bertujuan mencari distribusi korfisien situs namun tidak melakukan penelitian tentang faktor amplifikasi tanah dan dilakukan pada lokasi yang berbeda.

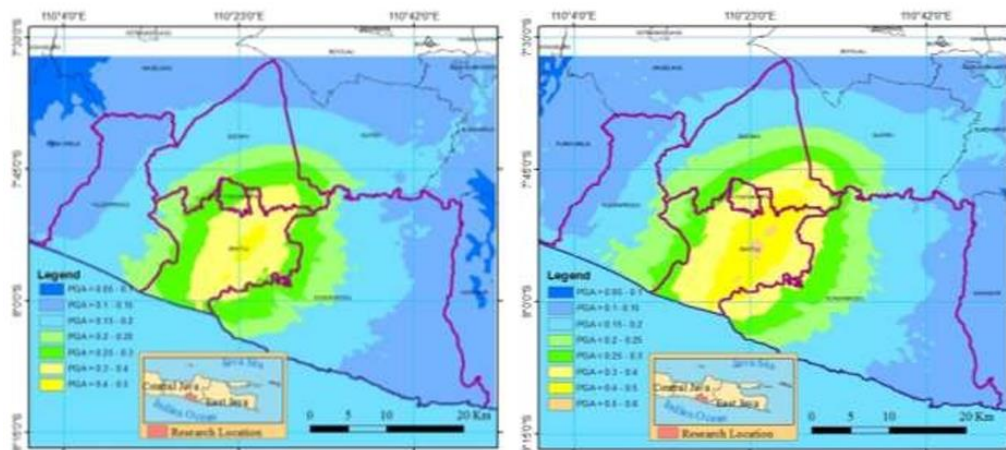
2.1.6 Perbandingan 10% dan 2/3 dari 2% PE selama 50 Tahun

Penelitian dengan judul *Comparison of 10% and 2/3 of 2% PE for 50 years Seismic Hazard at Yogyakarta Special Province (YSP), Indonesia Constructured From the Probabilistic Seismic Hazard Analysis* oleh Pawirodikromo dkk. (2018) Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki studi-studi sebelumnya yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya dan untuk mengetahui perbedaan tingkat bahaya untuk desain gempa berdasarkan 10% dan 2/3 dari 2% PE untuk 50 tahun.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). Adapun data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sumber gempa dalam radius 500 km dari Kota Yogyakarta berdasarkan basis data yang ada di USGS. Data gempa yang diambil adalah gempa bumi dengan magnitude lebih besar dari M 5.0 dengan kedalaman kurang dari 300 km. Dengan

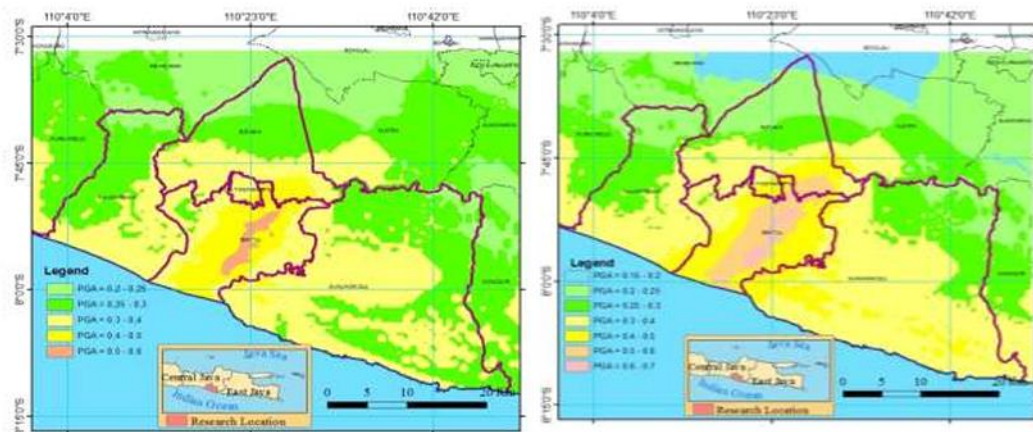
hasil dari penelitian tersebut yaitu : Perbandingan antara 10% dan 2/3 dari 2% dalam 50 tahun

Peta percepatan tanah maksimum (PGA) yang dihitung berdasarkan probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun disajikan pada Gambar 2.21 (kiri). pada gambar tersebut jelas terlihat bahwa PGA sebesar 0.5 g terletak sepanjang jejak patahan Opak atau Sungai Opak. Sementara itu, peta PGA di batuan dasar berdasarkan probabilitas terlampaui 2/3 dari 2% dalam 50 tahun disajikan pada Gambar 2.21 (kanan) sebesar 0.50-0.60g. Dengan demikian, PGA pada 2/3 dari 2% dalam 50 sekitar 20-25% lebih besar daripada PGA untuk 10% dalam 50 tahun. Selain lebih besar, distribusi PGA untuk 2/3 dari 2% dalam 50 tahun juga lebih luas, meskipun pola dsitribusinya masih serupa.



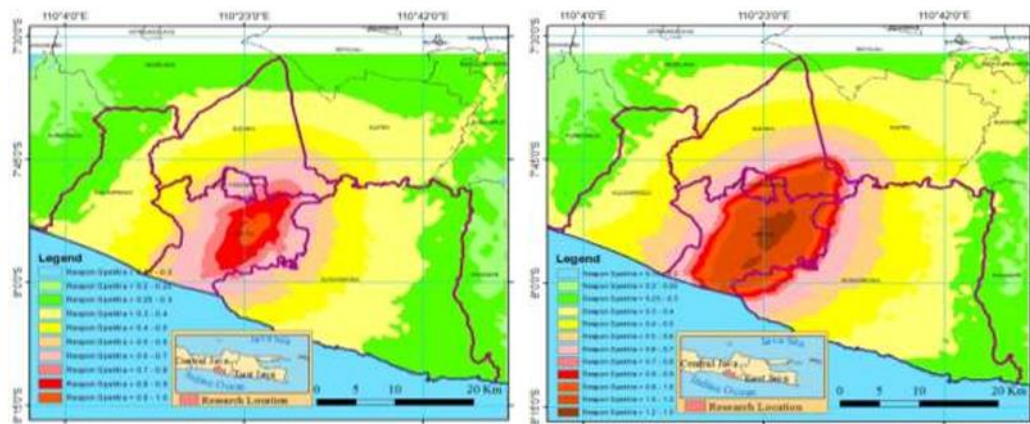
Gambar 2. 21 PGA di batuan dasar untuk periode $T=0$ detik dengan 10% PE dalam 50 tahun (kiri) dan untuk periode $T=0$ detik dengan 2/3 dari 2% PE dalam 50 tahun (kanan), Pawirodikromo dkk. (2018)

Sementara itu, PGA di permukaan untuk 10% PE dalam 50 tahun sekitar 0.5-0.60g, sedangkan PGA di permukaan untuk 2/3 dari 2% PE dalam 50 tahun sekitar 0.70-0.80g. Oleh karena itu, selain distribusi yang lebih luas, nilai PGA 2/3 dari 2% dalam 50 tahun juga sekitar 20-33% lebih besar daripada nilai PGA 10% PE dalam 50 tahun yang dapat dilihat pada Gambar 2.22.



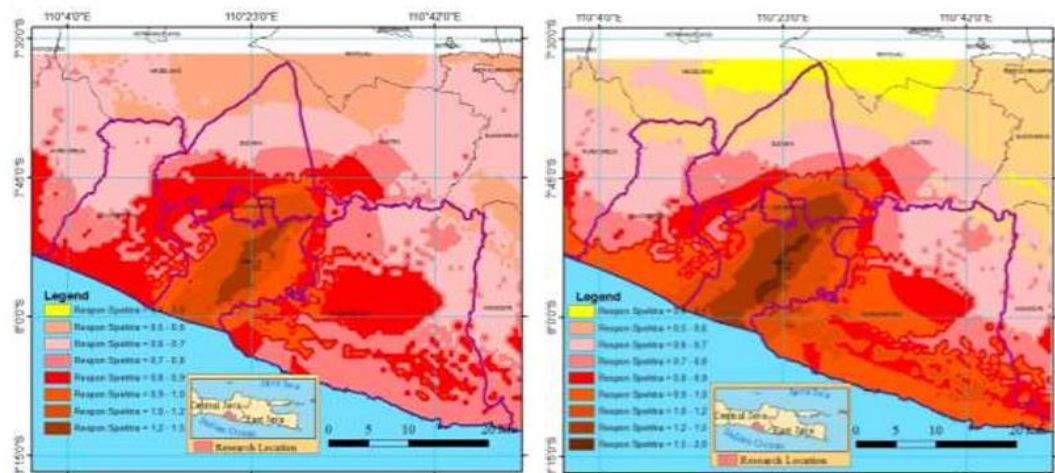
Gambar 2. 22 PGA di permukaan untuk periode $T=0$ detik dengan 10% PE dalam 50 tahun (kiri) dan untuk periode $T=0$ detik dengan 2/3 dari 2% PE dalam 50 tahun (kanan), Pawirodikromo dkk. (2018)

PGA di batuan dasar untuk periode $T=0.2$ detik untuk 10% PE dalam 50 tahun yang disajikan pada Gambar 2.23 (kiri) dibandingkan dengan PGA di batuan dasar untuk periode $T=0$ detik untuk 2/3 dari 2% PE dalam 50 tahun yang disajikan pada Gambar 2.23 (kanan). Pada kedua gambar terlihat bahwa secara umum distribusi PGA terlihat serupa. PGA di batuan dasar untuk periode $T=0.2$ 10% PE dalam 50 tahun mencapai 1.2-1.5g, sementara 2/3 dari 2% PE dalam 50 tahun mencapai 0.9-1g. Oleh karena itu, nilai PGA 2/3 dari 2% dalam 50 tahun sebesar 33-50% lebih besar daripada PGA 10% PE dalam 50 tahun.



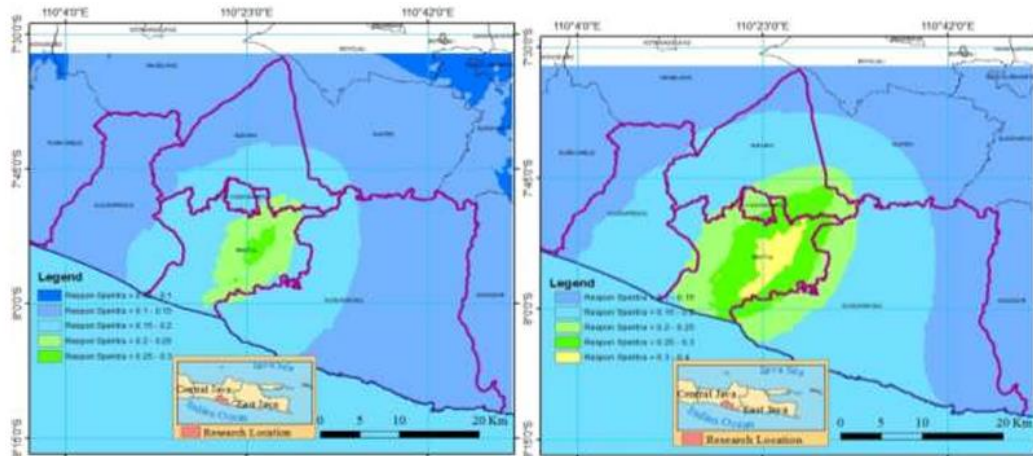
Gambar 2. 23 PGA di batuan dasar untuk periode $T=0.2$ detik dengan 10% PE dalam 50 tahun (kiri) dan untuk periode $T=0.2$ detik dengan 2/3 dari 2% PE dalam 50 tahun (kanan), Pawirodikromo dkk. (2018)

Sementara itu, pada Gambar 2.24 dapat dilihat bahwa PGA di permukaan untuk periode $T=0.2$ detik dengan 2/3 dari 2% PE dalam 50 tahun memiliki pola distribusi yang serupa dengan PGA di permukaan untuk periode $T=0.2$ detik dengan 10% PE dalam 50 tahun tetapi dengan area distribusi PGA yang lebih luas. Oleh karena itu, PGA untuk 2/3 dari 2% PE sebesar 25-33% lebih besar daripada PGA untuk 10% PE dalam 50 tahun.



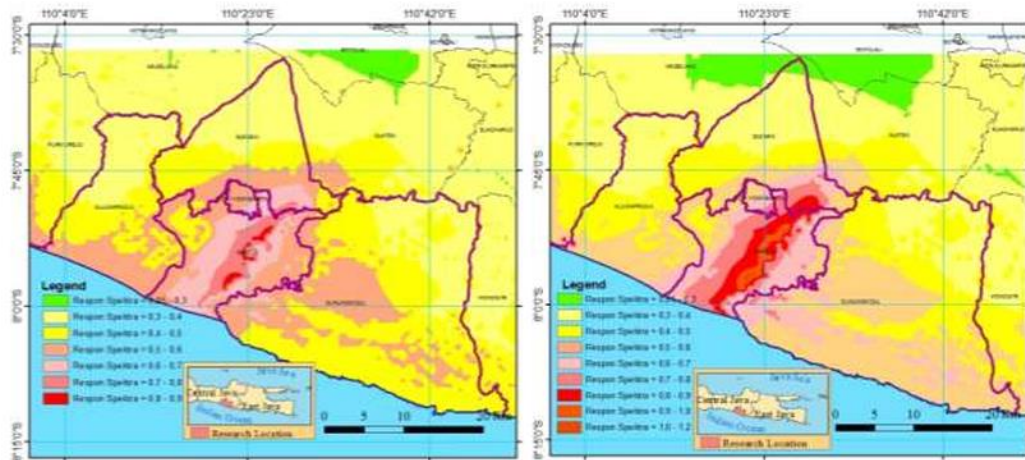
Gambar 2. 24 PGA di permukaan untuk periode $T=0.2$ detik dengan 10% PE dalam 50 tahun (kiri) dan untuk periode $T=0.2$ detik dengan 2/3 dari 2% PE dalam 50 tahun (kanan), Pawirodikromo dkk. (2018)

Pada Gambar 2.25 dapat dilihat bahwa PGA di batuan dasar untuk periode $T=1$ detik dengan $2/3$ dari 2% PE dalam 50 tahun memiliki pola distribusi yang serupa dengan PGA di batuan dasar untuk periode $T=1$ detik dengan 10% PE dalam 50 tahun. Perbedaannya hanya terletak pada sebaran PGA yang lebih luas. Jika nilai pada PGA di batuan dasar untuk periode $T=1$ detik dengan 10% PE dalam 50 tahun berkisar antara 0.25-0.30g, sedangkan nilai pada PGA di batuan dasar untuk periode $T=1$ detik dengan $2/3$ dari 2% PE dalam 50 tahun berkisar antara 0.30-0.40g. Ini berarti nilai PGA maksimum pada $2/3$ dari 2% PE dalam 50 tahun adalah 20-33% lebih besar daripada nilai PGA 10% PE dalam 50 tahun.



Gambar 2. 25 PGA di batuan dasar untuk periode $T=1$ detik dengan 10% PE dalam 50 tahun (kiri) dan untuk periode $T=1$ detik dengan $2/3$ dari 2% PE dalam 50 tahun (kanan), Pawirodikromo dkk. (2018)

Sementara itu, pada Gambar 2.26 dapat dilihat bahwa orientasi PSA maksimum mengikuti arah patahan Opak. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan sesar Opak memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap peta PGA dan PSA di YSP. Nilai maksimum di permukaan untuk periode $T=1$ detik dengan 10% PE dalam 50 tahun berada dalam rentang 0.80-0.90g. Sedangkan nilai pada PGA di permukaan untuk periode $T=1$ detik dengan $2/3$ dari 2% PE dalam 50 tahun berada dalam rentang 1.0-1.20g. dengan demikian, PSA $2/3$ dari 2% PE dalam 50 tahun lebih besar 20-33% dibandingkan dengan PSA 10% PE dalam 50 tahun.



Gambar 2. 26 PGA di permukaan untuk periode $T=0.2$ detik dengan 10% PE dalam 50 tahun (kiri) dan untuk periode $T=0.2$ detik dengan 2/3 dari 2% PE dalam 50 tahun (kanan), Pawirodikromo dkk. (2018)

Dari gambar-gambar diatas terlihat bahwa PGA dan PSA untuk 2/3 dari 2% semuanya lebih besar daripada PGA dan PSA untuk 10% PE selama 50 tahun. Secara umum, nilai maksimum 2/3 dari 2% PE sekitar 20-33% lebih besar daripada PGA dan PSA dari 10% PE selama 50 tahun. Oleh karena itu, percepatan spektral yang digunakan dalam menentukan kebutuhan kekuatan pada kode gempa berdasarkan kinerja keselamatan hidup dari 10% PE selama 50 tahun.

Penelitian penentuan PGA yang dilakukan pada penelitian ini juga dilakukan pada penelitian peneliti ini, yang membedakan hanya lokasi pada penelitian.

2.2 Keaslian Penelitian

Perbedaan-perbedaan penelitian sebelumnya telah dirangkum dan disajikan dalam bentuk tabel sebagaimana disajikan pada Tabel 2.1.

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang sering terjadi di negara Indonesia. Hal ini menjadikan Indonesia sebagai salah satu daerah yang paling rawan terhadap bencana gempa bumi. Gempa bumi terjadi akibat aktifitas seismik yang terjadi di lempengan tektonik maupun sesar. Aktifitas seismik ini berpotensi menimbulkan bencana alam (*natural hazard*) yang dapat menimbulkan korban jiwa. Tentunya hal ini merupakan masalah yang harus segera diatasi. Penelitian-

penelitian dilakukan dalam rangka pengurangan dampak/resiko dengan tujuan mengurangi jatuhnya korban jiwa. Indonesia memiliki daerah yang luas dengan kondisi seismik dan tingkat kerawanan yang berbeda pada setiap tempatnya, dalam Saputro & Aris (2018). Penelitian yang dilakukan oleh Makrup dkk. (2018) yaitu untuk mengembangkan peta kerawanan gempa Pulau Papua dengan *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) dengan menggunakan model Sumber gempa tiga dimensi (*Fault Source*). Penelitian yang dilakukan oleh Faisol (2020) yaitu untuk memetakan potensi bahaya gempa bumi di Provinsi Papua Barat dengan menggunakan metode percepatan tanah maksimum dan *point source analysis* yang dikombinasikan dengan distribusi Gumbel Penelitian yang dilakukan oleh Saputra dkk. (2020) yaitu menentukan nilai percepatan tanah dipermukaan untuk berbagai kabupaten atau kota di Provinsi Riau dengan menggunakan metode PSHA. Pada penelitian yang dilakukan oleh Pawirodikromo dkk. (2019) untuk mengembangkan peta koefisien situs di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Partono dkk. (2017) untuk mendapatkan informasi lengkap tentang Vs30, kelas situs dan distribusi koefisien situs untuk seluruh wilayah kota Semarang guna mengembangkan peta kelas situs dan koefisien situs. Dan penelitian yang dilakukan oleh Pawirodikromo dkk. (2018) untuk memperbaiki studi-studi sebelumnya yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya dan untuk mengetahui perbedaan tingkat bahaya untuk desain gempa berdasarkan 10% dan 2/3 dari 2% PE untuk 50 tahun.

Penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti adalah melakukan analisis percepatan tanah di batuan dasar dan permukaan, memetakan klasifikasi kelas situs tanah dan menentukan faktor amplifikasi dipermukaan tanah. Dengan demikian keaslian penelitian yang dilakukan dapat dipertahankan.

Keaslian penelitian ini secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 2.1 Sebagai berikut.

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan
1	Lalu Makrup, Arif Hariyanto & Setya Winarno (2018)	Peta Bahaya Seismik Untuk Pulau Papua	Untuk mengembangkan peta kerawanan gempa Pulau Papua dengan <i>Probabilistic Seismic Hazard Analysis</i> (PSHA) dengan menggunakan model Sumber gempa tiga dimensi (<i>Fault Source</i>).	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah <i>Probabilistic Seismic Hazard Analysis</i> (PSHA)	Hasil dari penelitian tersebut adalah tingkat kerawanan gempa di Pulau Papua mencapai 10% kemungkinan pelampauan selama 50 tahun dan menunjukkan pergerakan tanah di Pulau Papua berkisar antara 0,06g hingga 2,01g.	1. Penelitian meliputi seluruh wilayah Papua termasuk Papua New Guinea 2. Data gempa yang digunakan dari tahun 1963-2016 3. Peta yang disajikan hanya di batuan dasar
2	Arif Faisol (2020)	Pemetaan Potensi Bahaya Gempa Bumi di Provinsi Papua Barat Menggunakan Metode Percepatan Tanah Maksimum dan <i>Point Source Analysis</i>	Untuk memetakan potensi bahaya gempa bumi di Provinsi Papua Barat	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode percepatan tanah maksimum dan <i>point source analysis</i> yang dikombinasikan dengan distribusi Gumbel	Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai percepatan tanah maksimum di Provinsi Papua Barat pada berbagai periode ulang < 0,70 g, sehingga memiliki potensi bahaya gempa bumi rendah hingga sedang. Nilai percepatan tanah maksimum terendah sebesar 0,18 g dengan frekuensi	1. Data gempa yang digunakan dari tahun 1970-2017 2. Data seismik diperoleh dari BMKG dan (<i>United States Geological Survey</i>) USGS 3. Penelitian meliputi wilayah Papua Barat

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan
					kejadian 0,20 atau 20% setiap tahun dan nilai percepatan tanah maksimum tertinggi 0,61 dengan frekuensi kejadian 0,001 atau 0,1%. Wilayah yang memiliki potensi bahaya gempa bumi cukup tinggi umumnya berada dibagian pantai utara, hal ini disebabkan adanya sejumlah sesar	4. Hanya menggunakan 1 fungsi atenuasi yaitu Joyner-Boore (1988)
3	Elvis Saputra, Lalu Makrup, Fitri Nugraheni & Widodo Pawirodikromo (2020)	Analisis Percepatan Tanah Permukaan Di Wilayah Riau Dengan Metode PSHA	Untuk menentukan nilai percepatan tanah di permukaan untuk berbagai Kabupaten atau Kota di Provinsi Riau	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah <i>Probabilistic Seismic Hazard Analysis</i> (PSHA)	Hasil dari penelitian tersebut adalah nilai percepatan tanah permukaan di Provinsi Riau pada percepatan tanah puncak (PGA) berada pada rentang 0.097 – 0,78g. Kemudian pada periode 0.2 detik dengan nilai percepatan tanah berada pada rentang 0.204 – 1.943g dan pada periode 1 detik nilai percepatan tanah	1. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah historis kejadian gempa dari tahun 1963 sampai tahun 2019 yang diperoleh dari USGS 2. Penelitian dilakukan di Provinsi Riau

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan
					permukaan berada pada rentang 0.176 – 1.155 g. Kabupaten yang memiliki jarak lebih dekat dengan jalur Sesar Sumatera memiliki nilai percepatan lebih tinggi yaitu Kabupaten Rokan Hulu dengan percepatan maksimum sebesar 0.78g, Kabupaten Kampar dengan percepatan maksimum 0.72g dan Kabupaten Kuantan Singingi sebesar 0.62g. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa 3 Kabupaten tersebut memiliki risiko gempa lebih tinggi dari Kabupaten lainnya. Dengan diperolehnya nilai percepatan tanah pada setiap Kabupaten atau Kota yang ada di Provinsi Riau, maka dapat dijadikan	

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan
					rujukan oleh pemerintah provinsi maupun pemerintah Kabupaten dalam merencanakan pola tata ruang berbasis mitigasi bencana gempa	
4	Widodo Pawirodikromo, Lalu Makrup, Mochammad Teguh, Bambang Suryo & Eddy Hartanyo (2019)	<i>Site Coefficient of Short Fa and Long period Fv Maps Constructed from the Probabilistic Seismic Hazard Analysis in Yogyakarta Special Province</i>	Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan peta koefisien situs di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah <i>Probabilistic Seismic Hazard Analysis</i> (PSHA)	1. Menurut katalog USGS, kategori tanah SD atau tanah sedang berada sepanjang lembah sungai Opak dan Progo, serta pesisir Bantul dan Kabupaten Kulonprogo dan di bagian tengah Kabupaten Gunungkidul. Sementara itu, Jenis tanah keras atau SB terletak di lereng Merapi bagian barat Kabupaten Kulonprogo dan	1. Data gempa yang digunakan dari tahun 1963-2017 2. Lokasi penelitian di Yogyakarta

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan
					sepanjang tepi Kabupaten Gunungkidul. 2. Koefisien situs pada periode pendek atau F_a dipengaruhi oleh tanah sedimen pada Lembah sungai Opak atau sangat dipengaruhi oleh aktivitas sesar Opak sebagai sumber seismik. Untuk $PSA < 1.0g$, semakin jauh jarak sejajar dengan sesar Opak, koefisien situs untuk periode pendek F_a akan lebih besar. Sementara itu, koefisien situs untuk periode panjang F_v tampaknya sangat dipengaruhi oleh aktivitas gempa di megathrust. Hal ini terjadi karena nilai F_v yang besar terjadi di sepanjang	

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan
					pantai selatan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta sejajar dengan batas lempeng Australia. 3. Hubungan antara koefisien situs F_a dan F_v dengan V_{s30} tampaknya berserakan. Ditemukan bahwa koefisien seismik F_a untuk periode pendek meningkat dengan bertambahnya V_{s30}, sedangkan untuk periode panjang koefisien seismik F_v menurun dengan meningkatnya V_{s30}.	

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan
5	Windu Partono, Masyhur Irsyam & Sri Prabandiyani Retno Wardani (2017)	<i>Development Of Site Class And Site Coefficient Map</i>	untuk mendapatkan informasi lengkap tentang Vs30, kelas situs dan distribusi koefisien situs untuk seluruh wilayah kota Semarang guna pengembangan peta kelas situs dan koefisien situs.	Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Analisis Bahaya Seismik Probabilitas (PSHA)	Hasil dari penelitian ini yaitu Peta kelas situs dan koefisien situs Semarang diimplementasikan berdasarkan nilai Vs30 yang diprediksi di 265 lokasi. Koefisien situs diimplementasikan menggunakan PSHA dengan melakukan dua model PSHA. Nilai Vs30 yang digunakan dalam penelitian ini diprediksi menggunakan data N-SPT. Nilai Vs30 maksimum diamati di bagian tengah dan selatan Semarang sedangkan nilai Vs30 terendah ditemukan di bagian utara wilayah studi. Distribusi nilai Vs30 memiliki korelasi yang baik dengan distribusi kelas situs. Dengan menggunakan	1. Data gempa yang digunakan dari tahun 1900 sampai tahun 2013 2. Tidak menampilkan peta percepatan tanah 3. Lokasi penelitian berada di wilayah Semarang

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan
					distribusi Vs30 untuk seluruh wilayah studi, situs kelas SD dan SC diidentifikasi di sepanjang bagian tengah dan selatan kota, sehingga situs kelas SE diidentifikasi di sepanjang bagian utara wilayah studi. Distribusi koefisien situs memiliki korelasi yang baik dengan distribusi kelas situs. Koefisien situs FPGA, Fa dan Fv terendah diidentifikasi di bagian tengah dan selatan daerah penelitian, sehingga FGPA, Fa dan Fv tertinggi diidentifikasi di bagian utara daerah penelitian. Berdasarkan dua model perbedaan PSHA dapat dilihat bahwa nilai FPGA, Fa dan Fv dapat dengan mudah diprediksi	

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan
					dengan membandingkan percepatan tanah puncak dan percepatan spektral yang dihitung menggunakan PSHA dengan melakukan Vs30 nyata situs dan Vs30 = 760 m/s.	
6	Widodo Pawirodikromo, Lalu Makrup, Mochammad Teguh, Bambang Suryo & Eddy Hartanyo (2018)	Comparison Of 10 % And 2/3 Of 2 % Pe For 50 Years Seismic Hazard At Yogyakarta Special Province (Ysp), Indonesia Constructed from The Probabilistic Seismic hazard analysis	Melakukan <i>Probabilistic Seismic Hazard Analysis</i> (PSHA) untuk penentuan <i>hazard</i> gempa bumi di area tertentu dan pengembangan Kode Bangunan meskipun menverifikasi hasil dibandingkan dengan kejadian gempa yang sebenarnya masih perlu untuk diselidiki.	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah <i>Probabilistic Seismic Hazard Analysis</i> (PSHA)	Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan menggunakan data gempa yang lebih lengkap, semua nilai PSA diperoleh sedikit lebih tinggi dari hasil seperti yang disajikan oleh penelitian sebelumnya dan nilai PSA. 2/3 dari 2% PE secara signifikan lebih besar dari PSA berdasarkan 10% PE selama 50 tahun.	1. Lokasi Penelitian di Yogyakarta 2. Penggunaan fungsi atenuasi yang berbeda

BAB III

LANDASAN TEORI

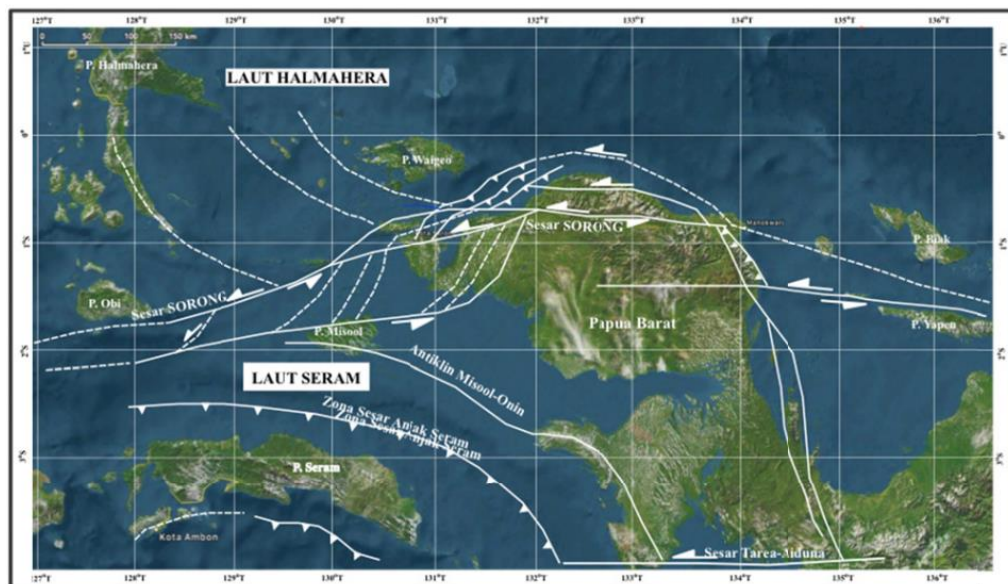
3.1 Kondisi Tektonik Kota Sorong

Papua dan Papua Barat Daya terletak di daerah paling timur wilayah Indonesia. Struktur tatanan lempeng tektonik Papua dan Papua Barat Daya terletak pada pertemuan tiga lempeng kerak bumi yaitu lempeng pasifik (lempeng *Caroline*) yang bergerak dari utara relatif ke arah barat menyusup di bawah lempeng Hindia-Australia, dimana lempeng Hindia-Australia menyusup dibawah lempeng Eurasia di sebelah barat Papua dan Papua Barat (Puntudewo et al., 1994 dalam Lewerissa & Manobi (2013). Kondisi ini menyebabkan wilayah Papua dan Papua Barat banyak digoncang gempabumi. Berdasarkan nilai parameter Guttenger-Richter, wilayah Papua dan Papua Barat termasuk kategori daerah dengan tingkat kegempaan yang cukup tinggi (Bunga dan Mantiri, 2007 dalam Lewerissa & Manobi (2013). Kabupaten Sorong dan Kota Sorong merupakan kabupaten dan kota di Propinsi Papua Barat. Disekitar daerah ini terdapat jalur sesar, dikenal sebagai Sesar Sorong-Yapen . Zona Sesar ini lebarnya 15 km dengan pergeseran diperkirakan mencapai 500 km. Sehingga berdampak pada seismisitas yang menyebabkan Kabupaten Sorong dan Kota Sorong banyak merasakan guncangan gempabumi.

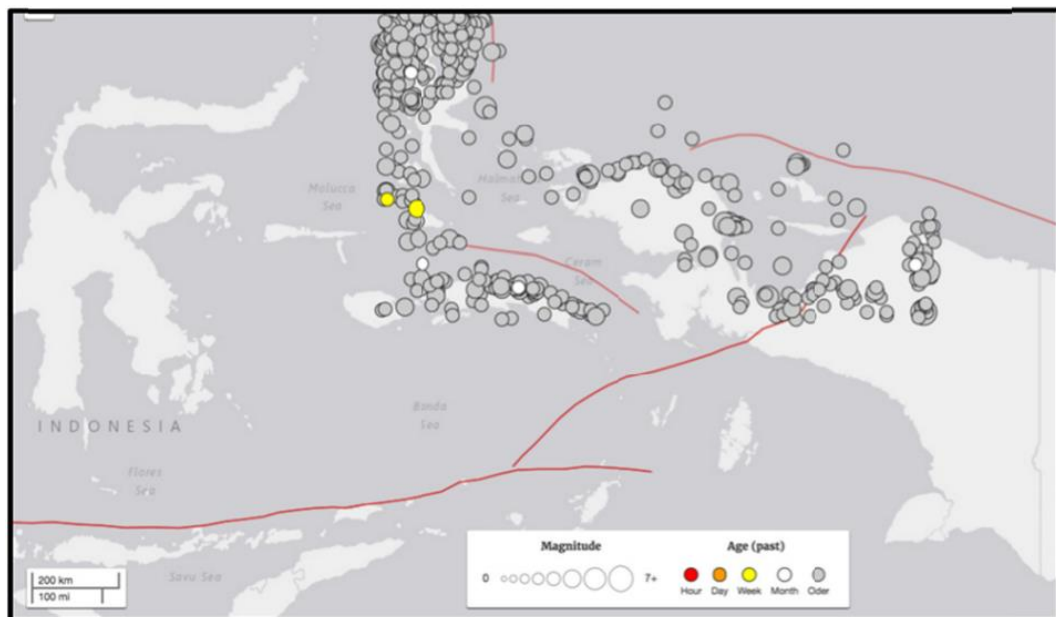
Adapun Sesar Sorong yang merupakan kelanjutan dari zona sesar geser aktif mengiri Yapen-Sorong diduga aktif sejak Akhir Miosen (Hasanudin, 2010; Riadini drr., 2009; Riadini dan Sapiie, 2011 dalam Permana & Gaol (2018)) dengan panjang mencapai 1000 km. Sesar Sorong di sebelah barat dari Pulau Batanta terbagi menjadi tiga bagian yaitu:

1. Di sisi utara dinamakan Sesar Maluku-Sorong yang memanjang berarah barat-timur.
2. Di bagian tengah disebut Sesar Sula Utara-Sorong yang memanjang berarah timur laut-barat daya.
3. Di sisi bagian selatan dikenal sebagai Sesar Misool Utara-Sorong yang berarah timur laut-barat daya.

Zona Sesar Sorong merupakan kompleks *mélange* terbentuk pada sistem subduksi pra-Pliosen. Zona sesar ini sering ditafsirkan sebagai sesar geser walaupun buktinya tidak cukup kuat atau kemungkinan sebagai suatu suture atau sesar transform, yang mengandung komponen sesar geser yang menghubungkan Lempeng Pasifik di sisi utara dan Lempeng Australia di sisi selatan (Hamilton, 1979; Riadini dan Sapiie, 2011; Saputra drr., 2014). Di sisi utara sistim Sesar Sorong ditempati batuan berasosiasi dengan Lempeng Laut Filipina sedangkan di sisi bagian selatan sesar di dominasi Kerak Benua Australia yang ditutupi oleh batuan dari Zona Tektonik Buru-Salawati (Saputra drr., 2014). Kawasan Kepala Burung Papua bersama dengan Cekungan Salawati bergerak ke arah barat relatif terhadap pergerakan Lempeng Pasifik melalui Sesar Sorong yang memotong batuan Paleosoik hingga formasi batuan berumur Tersier (Riadini drr., 2009; Riadini dan Sapiie, 2011). Pergerakan ke barat dari Kepala Burung dan pembentukan struktur bunga di barat laut Kepala Burung Papua mengindikasikan pemendekan kerak akibat aktifitas Sesar Geser Sorong (Riadini drr., 2009; Riadini dan Sapiie, 2011). Gambar 3 dan 4 memperlihatkan struktur geologi yang berkembang di Kawasan Kepala Burung Papua dan data seismisitas.



Gambar 3. 1 Struktur geologi sekitar Kepala Burung Papua dan Sesar Sorong (Riadini drr., 2009; Riadini dan Sapiie, 2011; Sapiie drr., 2012; Saputra drr., 2014). Peta dasar: Google Earth, Permana & Gaol (2018)



Gambar 3. 2 Seismisitas di sekitar Sesar Sorong, Kepala Burung Papua (USGS, 2017) dalam Permana & Gaol (2018)

Kegempaan di Kepala Burung memperlihatkan sejarah gempa dengan magnitude lebih dari 6. Paling tidak terdapat 21 gempa dengan kekuatan lebih dari magnitude 6 tercatat sejak 1990. Salah satu gempa terkini adalah gempa 24 September 2015 yang berlokasi di 31 km sebelah barat Kota Sorong. Gempa ini berkekuatan 6,3 Ms yang menyebabkan 62 orang luka-luka dan lebih dari 200 rumah rusak berat (BNPB, 2015 dalam PuSGeN (2017)).

3.2 Gempa Bumi

3.2.1 Pengertian Gempa Bumi

Gempa bumi adalah berguncangnya bumi yang disebabkan oleh tumbukan antar lempeng bumi, patahan aktif, aktivitas gunung berapi atau runtuhannya struktur bangunan. Gempa bumi yang paling berpotensi merusak adalah yang disebabkan oleh pergeseran lempeng dan patahan lempeng. Gempa bumi secara pasti belum dapat diprediksi kejadiannya. Prediksi yang dimaksud adalah prediksi tempat dan waktu kejadian, magnitude gempa maupun kedalaman fokus. Prediksi yang akurat akan sangat membantu untuk tujuan kemanusiaan. Walaupun belum dapat diprediksi secara akurat, tetapi perkiraan tempat-tempat potensi kejadian gempa pada masa-masa mendatang sudah dapat diidentifikasi secara baik.

3.2.2 Jenis-jenis Gempa Bumi

Diperlukan lebih dari 2300 tahun untuk memahami mekanisme atau penyebab terjadinya gempa. Sekarang ini para ilmuwan dapat menjelaskan mekanisme terjadi gempa, tidak lain adalah akibat aktivitas fisik peristiwa geologi. Aktivitas geologi yang dimaksud khususnya adalah aktivitas didalam bumi dan teori lempeng tektonik. Menurut Pawirodikromo (2012), jenis-jenis gempa dilihat dari penyebab terjadinya adalah sebagai berikut.

1. Gempa Runtuhan (*Collapse Earthquake*)

Pada umumnya gempa bumi dipahami apabila terjadi getaran tanah secara tiba-tiba baik yang dapat dirasakan oleh manusia maupun tidak. Runtuhan lapisan tanah baik runtuh di dalam gua-gua dan tambang-tambang dalam batas-batas tertentu dapat mengakibatkan getaran pada tanah. Gempa runtuh juga terjadi pada kejadian tanah longsor dan ledakan pada pekerjaan bawah tanah yang mengakibatkan runtuhnya lapisan batu/tanah. Getaran tanah yang terjadi mirip dengan gempa bumi tetapi intensitasnya relatif rendah.

2. Gempa Vulkanik (*Volcanic Earthquake*)

Gempa vulkanik terjadi karena adanya aktivitas vulkanik yaitu proses keluar paksa magma panas keatas permukaan tanah. Keluar paksa yang dimaksud adalah keluarnya magma yang tidak lancar, sehingga dapat menimbulkan ledakan. Oleh karena itu gempa vulkanik berhubungan dengan kegiatan ledakan gunung berapi, mulai dari ledakan kecil maupun besar.

3. Gempa Ledakan (*Explosion Earthquake*)

Gempa ledakan terjadi karena adanya ledakan yang sangat besar didalam tanah misalnya akibat percobaan ledakan nuklir dibawah tanah. Ledakan nuklir dibawah tanah dapat menghasilkan energi nuklir, panas dan tekanan yang sangat tinggi. Akibatnya, tanah/batuan dipusat ledakan bahkan dapat menguap/menjadi uap karena begitu tingginya panas dan tekanan. Energi, panas dan tekanan yang sangat besar kemudian merambat dari pusat ledakan ke segala arah termasuk ke permukaan tanah. Rusaknya massa tanah/batuan dapat saja sampai dipermukaan tanah sehingga batuan/massa tanah dapat terlempar ke atmosfer. Begitu besarnya

energi getaran yang ditimbulkan sehingga getaran tersebut dapat merambat di permukaan ke segala arah dan dapat dirasakan getarannya seperti gempa bumi.

4. Gempa Tektonik (*Tectonic Earthquake*)

Gempa tektonik adalah gempa yang umumnya paling besar dibanding dengan jenis gempa-gempa yang lain. Gempa bumi jenis ini erat sekali hubungannya dengan aktivitas lempeng tektonik baik skala regional maupun global. Gerakan lempeng tektonik/massa batuan dapat saling beradu, saling menggeser, saling tarik dan kombinasi diantaranya. Dua lempeng tektonik yang saling beradu atau menggeser akan mengakibatkan tegangan, deformasi dan berarti akan terjadi akumulasi energi regangan. Apabila tegangan batuan yang terjadi sudah sedemikian besar dan sudah tidak dapat lagi ditahan oleh batuan maka kerusakan batuan akan terjadi. Kerusakan lapis kerak bumi yang terjadi secara tiba-tiba menimbulkan getaran yang disebarkan kesemua arah yang selanjutnya merambat sampai permukaan tanah. Getaran tanah tersebut dikenal sebagai gempa bumi tektonik.

3.2.3 Parameter Gempa Bumi

Menurut Sungkowo (2016), mengatakan bahwa parameter gempa bumi merupakan informasi yang berkaitan dengan kejadian gempa bumi. Parameter gempa bumi ini meliputi waktu kejadian (*origin time*), lokasi episenter, kedalaman sumber gempa bumi, dan magnitudo. Waktu kejadian gempabumi (*origin time*) adalah waktu terlepasnya akumulasi tegangan (*stress*) yang berbentuk penjarangan gelombang gempa bumi dan dinyatakan dalam hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit dan detik dalam satuan UTC (*Universal Time Coordinated*). Episenter adalah titik di permukaan bumi yang merupakan refleksi tegak lurus dari hiposenter atau fokus gempa bumi. Lokasi ini ditentukan dalam sistem koordinat geografis atau kartesian bola bumi dan dinyatakan dalam derajat lintang dan bujur. Kedalaman sumber gempa bumi diukur dengan menghitung jarak hiposenter tegak lurus dari permukaan bumi. Kedalaman dinyatakan oleh besaran jarak dalam satuan kilometer (km). Intensitas gempa bumi merupakan ukuran gempa bumi yang pertama kali digunakan untuk menyatakan besar gempa bumi sebelum manusia dapat mengukur besarnya gempa bumi dengan alat. Ukuran ini dapat diketahui dengan cara

melakukan pengamatan langsung efek gempa bumi terhadap manusia, struktur bangunan dan lingkungan pada suatu lokasi tertentu. Magnitudo gempa bumi adalah parameter gempa bumi yang berhubungan dengan besarnya kekuatan gempa bumi di sumbernya. Jadi pengukuran magnitudo yang dilakukan di tempat yang berbeda, harus menghasilkan harga yang sama walaupun gempa bumi yang dirasakan di tempat-tempat tersebut tentu berbeda.

3.2.4 Model Sumber Gempa

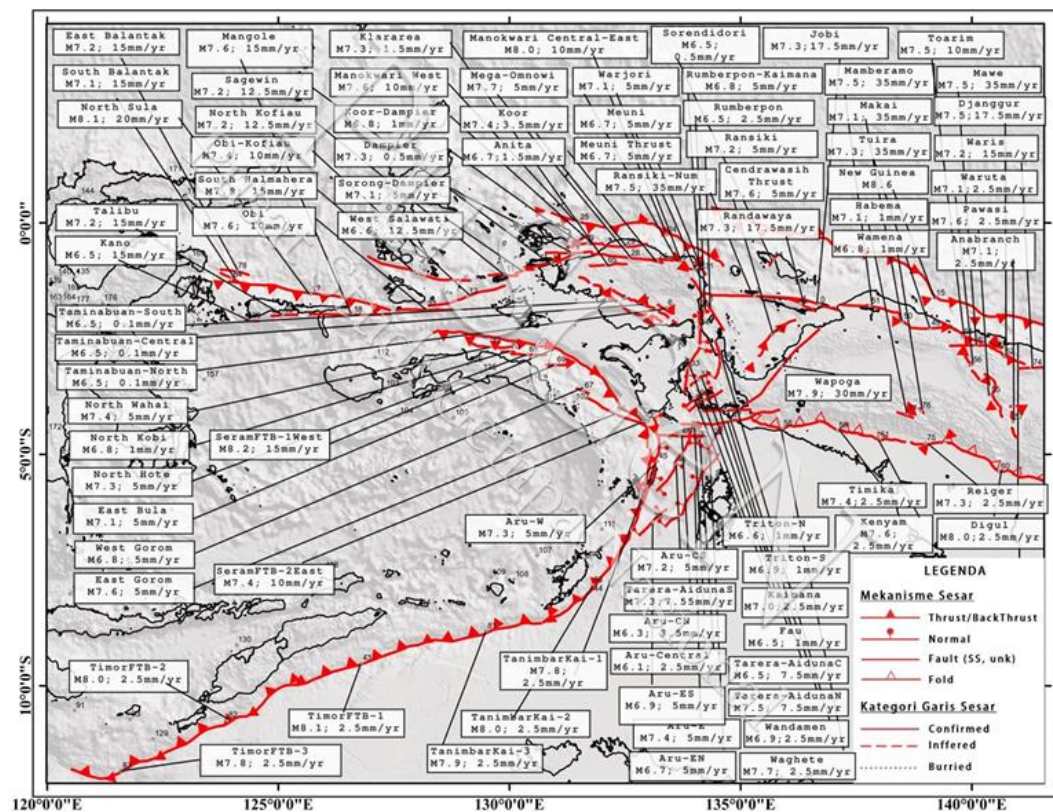
Model sumber gempa diperlukan sebagai hubungan antara data kejadian gempa dengan model perhitungan yang digunakan dalam menentukan tingkat resiko gempa. Zona sumber gempa didefinisikan sebagai area yang mempunyai derajat gempa yang sama, dimana di setiap titik dalam zona tersebut mempunyai kemungkinan yang sama akan terjadinya gempa dimasa mendatang. Model sumber gempa akan memberikan gambaran distribusi episenter kejadian gempa historik, frekuensi kejadian gempa dan pergeseran relatif lempeng (*slip rate*) dari suatu sumber gempa.

Parameter yang diperlukan dalam membuat suatu model sumber gempa meliputi *seismogenic zones*, *focal mechanisms* dan *earthquake catalogues*. Kondisi *seismogenic* ini termasuk geometri atau geomorfologi lempeng tektonik seperti sesar dan zona subduksi. Asrurifak (2010) mengatakan bahwa ada tiga model sumber gempa yaitu sebagai berikut.

1. Model Sumber Gempa Sesar (*Shallow Crustal*)

Model sumber gempa sesar ini juga disebut sebagai sumber tiga dimensi karena dalam perhitungan probabilitas jarak, yang dilibatkan adalah jarak dari site ke hiposenter. Jarak ini memerlukan data dip dari sesar yang akan dipakai sebagai perhitungan probabilitas tersebut. Parameter-parameter yang diperlukan untuk analisis probabilitas dengan model sumber gempa sesar adalah: *fault trace*, mekanisme pergerakan, *slip-rate*, *dip*, panjang dan lebar *fault*. Penentuan lokasi sesar (*fault trace*) ini berdasar dari data peneliti yang sudah dipublikasi yang kemudian di *trace* ulang dengan menggunakan data *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) yang berbentuk peta geomorfologi dan data

gempa yang sudah direlokasi. Dari hasil *trace* ini didapatkan panjang dari sesar yang dicari. Data yang lain didapat dari referensi yang sudah dipublikasi dan hasil diskusi dengan para ahli geologi, geofisika, geodinamika dan seismologi yang tergabung dalam Tim Teknis Revisi Peta Gempa Indonesia. Apabila ada parameter yang datanya lebih dari satu dan diinginkan data tersebut digunakan semua, maka data ini dapat di bobot (*weighting*). Untuk penentuan nilai slip-rate sudah mempertimbangkan data GPS terbaru.

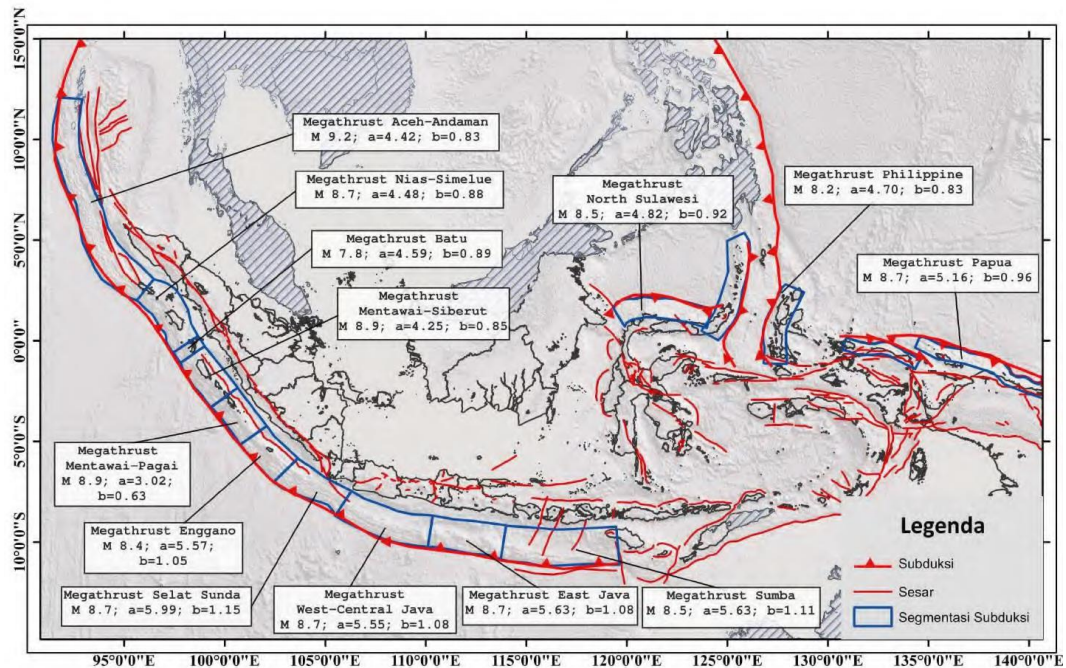


Gambar 3. 3 Magnitude maksimum dan *slip-rate* dari sumber-sumber gempa sesar di wilayah Maluku-Papua, PuSGeN (2017)

2. Model Sumber Gempa Subduksi

Model sumber gempa subduksi merupakan model yang didapat dari data seismotektonik yang sudah teridentifikasi dengan baik. Parameter model ini meliputi lokasi subduksi yang dituangkan dalam koordinat *latitude* dan *longitude*, kemiringan bidang subduksi (*dip*), *rate*, dan *b-value* dari areal subduksi yang bisa didapatkan dari data gempa historis, serta batas kedalaman area subduksi.

Kemiringan bidang subduksi didapat dari model Tomografi Widiyantoro (2009) dan dari bantuan software *opensource* Z-Map (Weimer, 2001). Batas kedalaman maksimum dari sumber gempa ini adalah 50 km atau merupakan daerah Megathrust. Untuk daerah yang lebih dalam (> 50 km) diwakili oleh model sumber gempa *deep background* yang merupakan gempa-gempa *benioff*. Perhitungan nilai- b (b -value) untuk sumber gempa subduksi dilakukan dengan cara mengambil data-data gempa historis yang ada di daerah *Megathrust*, kemudian dilakukan analisis statistik dengan model *Maximum Likelihood*. Nilai magnituda maksimum, a - b value serta besarnya M_{max} historis untuk sumber gempa subduksi interface atau Megathrust yang banyak mempengaruhi nilai kegempaan wilayah Indonesia.



Gambar 3. 4 Model segmentasi dan parameter sumber gempa subsuksi (*Megathrust*) Wilayah Indonesia, PuSGeN (2017).

3. Model Sumber Gempa *Background*

Model sumber gempa *background* ini dibuat karena pada daerah sumber yang ditinjau tidak ada data *seismogenic*-nya tapi di daerah tersebut ada kejadian gempanya, kejadian gempa yang terjadi di daerah *background* biasanya adalah gempa-gempa kecil sampai sedang. Pada daerah yang terdapat gempa sedang

sampai besar biasanya identifikasi sesarnya jelas. Model yang digunakan untuk sumber gempa *background* ini model *gridded* yang berdasar pada laju gempa (*earthquake rates*) secara *spatially smoothed*. Katalog gempa yang digunakan untuk analisis sumber adalah gempa-gempa utama atau gempa yang independen yang didapatkan dari data katalog gempa yang sudah dihilangkan *foreshock* dan *aftershock*-nya. Dalam model ini analisis yang digunakan adalah katalog gempa dengan magnitude ≥ 5 .

3.3 Karakteristik Sumber Gempa

Karakteristik sumber gempa memiliki beberapa parameter, yaitu nilai-a, nilai-b, magnitude maksimum dan slip rate. Parameter tersebut digunakan dalam analisis *seismic hazard*. Nilai-a dan nilai-b adalah konstanta hubungan antara jumlah gempa (N) dan kekuatan (M), yang dikenal sebagai metode Gutenberg Richter dalam Sunardi et al. (2016).

3.3.1 Magnitude Maksimum

Magnitude maksimum adalah gambaran gempa terbesar yang diperkirakan dapat terjadi pada suatu wilayah. Magnitude maksimum dapat dihitung dengan menggunakan hasil penelitian dari perhitungan geofisika atau ahli tentang kondisi tektonik dan pergeseran batuan di wilayah tersebut. Magnitude maksimum dapat dipertimbangkan dengan memperhitungkan perkiraan momen seismik yang disebabkan oleh struktur tektonik dan pergeseran batuan di suatu wilayah.

3.3.2 Penentuan Parameter a Berdasarkan Slip-rate

Menurut Shah and Boen (1996) dalam Artati (2023) mengatakan bahwa *slip rate* gerakan fault dapat digunakan untuk menentukan parameter a, α dan rate (v) dari hukum Gutenberg-Richter. Prosedur untuk menentukan nilai parameter adalah sebagai berikut :

1. Tentukan magnitude maksimum (M_{max}), dapat ditentukan dengan persamaan well dan Coppersmith (1994).

$$M_{max} = 5.08 + 1.16 \log L_f \quad (3.1)$$

2. Hitung periode ulang magnitude maksimum (T_{max}) dalam kaitannya dengan slip rate. Dapat menggunakan persamaan Well dan Coopersmith (1994).

$$T_{max} = \left(\frac{1000}{\text{slip rate}}\right) 10^{(-5.46+0.82M_{max})} \quad (3.2)$$

3. Perkirakan nilai parameter b atau β , setelah itu nilai parameter a atau α , dapat ditentukan menggunakan hukum Gutenberg-Richter.

$$\alpha = -bM_{max} - \log T_{max} \quad (3.3)$$

$$\alpha = -\beta M_{max} - \ln T_{max} \quad (3.4)$$

4. Rate (*recurrence rate*) kejadian gempa tertentu dihitung berdasarkan parameter a atau α dan b atau β yang sudah diketahui diatas dengan persamaan sebagai berikut.

$$v = 10^{a-bm_0} \quad (3.5)$$

$$v = \exp(\alpha - \beta m_0) \quad (3.6)$$

3.3.3 Annual Rate dan b-value

Model berulang yang banyak digunakan adalah model eksponensial yang diekspresikan dengan garis-b dari Gutenberg-Richter (1944) melakukan studi terhadap kumpulan data untuk California selatan. Gutenberg-Richter mendefinisikan tentang “laju tahunan rata-rata terlampaui” (*the mean annual rate of exceedance*). Nilai logaritma versus magnitude M selanjutnya di plot, hasil plotting ini akan memberikan bentuk hubungan yang mendekati linier dalam Erlangga (2020).

3.4 Ground Motion Prediction Equation (GMPE)

Saputra dkk.(2020) mengatakan bahwa *ground motion prediction equation* adalah proses atau rumusan suatu gerakan baik berupa percepatan, kecepatan, simpangan, dan intensitas gempa yang akan mengecil pada jarak yang semakin menjauh dari sumber gempa. Persamaan GMPE secara umum mempresentasikan fungsi-fungsi yang terkait dengan informasi sumber gempa, jalur penjalaran gelombang gempa, dan kondisi lokasi titik pengamatan. Penentuan nilai percepatan tanah permukaan pada metode PSHA permukaan dilakukan dengan cara sama

seperti pada analisis PSHA di batuan dasar, yang berbeda pada analisis ini adalah penggunaan persamaan GMPE, pada PSHA batuan dasar persamaan GMPE yang digunakan adalah GMPE khusus untuk batuan dasar dan begitu juga pada PSHA permukaan, GMPE yang digunakan juga khusus untuk analisis permukaan. Persamaan (1) sampai dengan persamaan (5) berikut ini merupakan persamaan GMPE yang digunakan dalam analisis tiap sumber gempa.

Sumber Gempa Subduksi :

1. GMPE Youngs et al., (1997)

Untuk Batuan (*Rock*) :

$$\ln(y) = 0.2418 + 1.414 M + C_1 + C_2 (10 + M)^3 - C_3 \ln(r_{rup} + 1.7818 e^{0.554M}) + 0.00607H + 0.3846s Z_r \quad (3.7)$$

Untuk Tanah (*Soil*) :

$$\ln(y) = -0.6687 + 1.438 M + C_1 + C_2 (10 + M)^3 - C_3 \ln(r_{rup} + 1.097 e^{0.617M}) + 0.00648 H + 0.3643 Z_r \quad (3.8)$$

dengan :

Y = spectral acceleration (g)

M = moment magnitude ($M_w \geq$)

R_{rup} = jarak terdekat ke zona rupture (km)

H = kedalaman (km)

Z_r = tipe sumber gempa,

= 0 untuk gempa interface dan 1 untuk gempa intraslab

2. GMPE Atkinson – Boore (2003)

$$\ln y = \ln(M) + C_3 h + C_4 R - g \log R + C_5 S_1 S_C + C_6 S_1 S_D + C_7 S_1 S_E \quad (3.9)$$

Sumber Gempa Sesar (Douglas, 2018):

1. GMPE Sadigh et al (1997)

Untuk Batuan (rock) :

$$\ln y = C_1 - C_2 M - C_3 (8.5-M)^{2.5} + C_4 \ln(R_{rup} + \exp^{(C_5 + C_6 M)}) - C_7 \ln(R_{rup} + 2) \quad (3.10)$$

Untuk Tanah (Soil) :

$$\ln y = C_1 + C_2 M + C_3 \ln[R_{rup} + C_4 e^{(C_5 M)}] + C_6 + C_7 (8.5-M)^{2.5} \quad (3.11)$$

2. GMPE Boore-Atkinson (2006) NGA

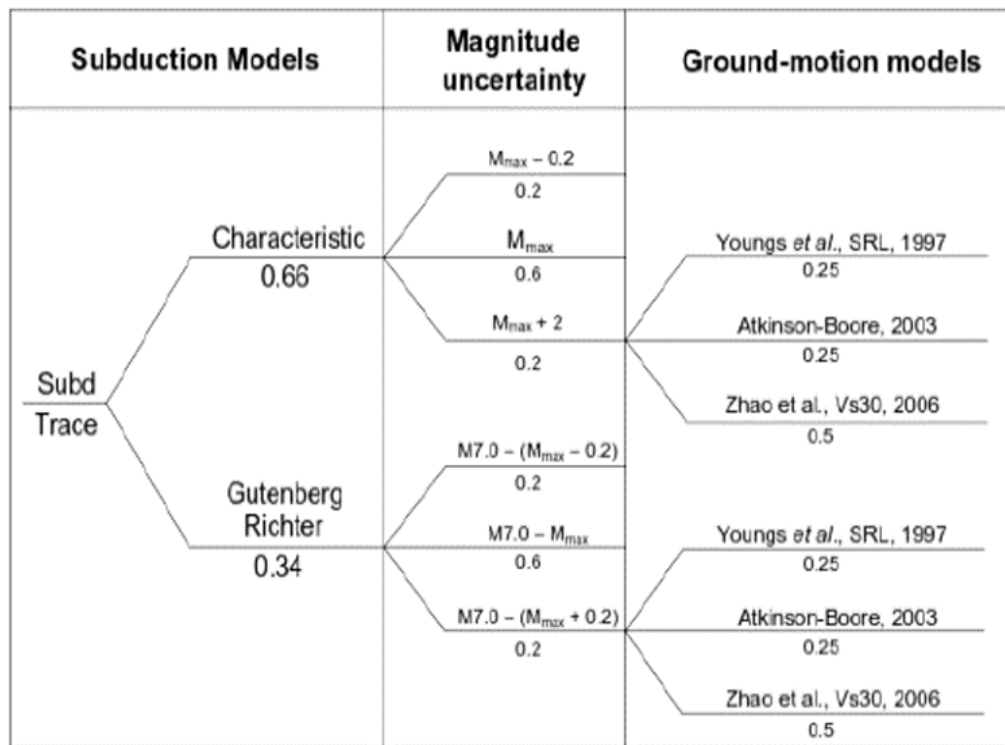
$$\ln y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) + \varepsilon\sigma_T \quad (3.12)$$

3. GMPE Chiou-Youngs 2008 NGA

$$\ln(SA_{ij}) = \ln(SA_{1130ij}) + \phi_1 [\ln(Vs_{30ij}) - \ln(0.1)]_{\min} + \phi_2 [\exp\{\phi_2 ((Vs_{30ij} - 1130) - \exp\{\phi_3 (1130 - 360)\})\} \ln(SA_{1130ij}) + \phi_4] / \phi_4 + \sigma Z_{ij} \quad (3.13)$$

3.5 Logic Tree

Logic tree merupakan sebuah solusi untuk memperhitungkan ketidak pastian dalam menentukan parameter-parameter gempa dalam analisis *seismic hazard*. Parameter gempa yang dimaksud, yaitu *magnitude* maksimum, Persamaan GMPE, pemilihan model (*recurrence model*), dan *reccurence rate*. Dengan diberikannya faktor pembobot yang berbeda-beda pada masing-masing parameter maka *logic tree* akan mengontrol tingkat keakuratan dari penggunaan parameter yang telah dipilih. Setiap parameter yang dipilih kemudian diberikan suatu bobot, itu menggambarkan tingkat kepercayaan terhadap parameter yang digunakan. Jumlah bobot dari semua alternatif metode untuk parameter yang sama harus sama dengan satu. Contoh gambar model *Logic Tree* analisis *hazard* gempa untuk sumber gempa subduksi. Pada gambar di bawah distribusi *magnitude* gempa karakteristik diberikan 66% lebih mungkin menjadi betul dibandingkan dengan distribusi Gutenberg-Richter. Pada level *magnitudo*, kemungkinan relatif yang berbeda diberikan untuk *magnitude* maksimum. Untuk M_{max} diberikan kemungkinan relatif 0.6 sedangkan $M_{max}-0.2$ dan $M_{max}+0.2$ diberikan kemungkinan relatif masing-masing 0.2. Pada level terakhir yaitu atenuasi untuk subduksi yaitu Youngs et al (1997), Atkinson Boore (2003) dan Zhao et al (2006) diberikan kemungkinan relatif 0.25, 0.25 dan 0.5, Sunardi (2013).

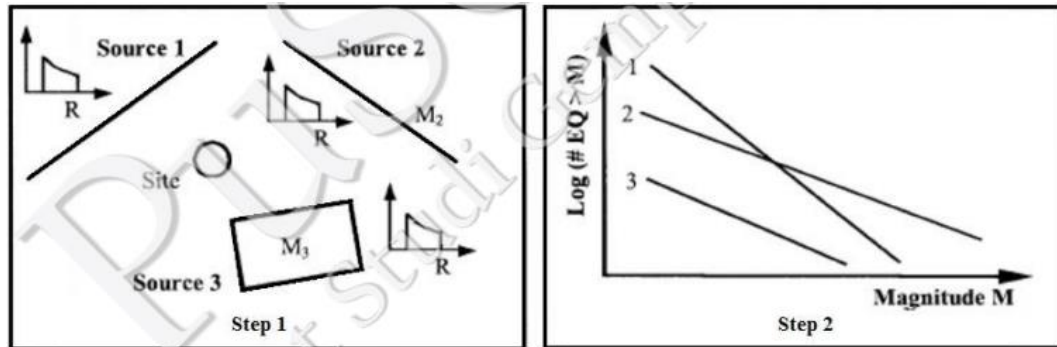


Gambar 3. 5 Contoh Logic Tree Dalam Analisis Hazard Gempa (Kramer, SL., 1996 dalam Sunardi (2013))

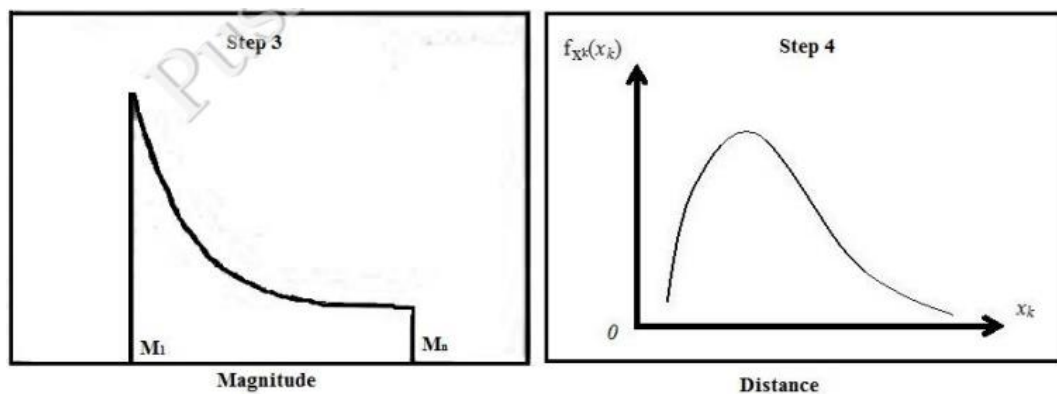
3.6 Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)

Peristiwa gempa bumi merupakan bagian dari gejala alam yang bersifat acak dan tidak dapat ditentukan dengan pasti, baik itu tempat kajadian, waktu kejadian, dan bersaran magnitude. Dengan menggunakan konsep probabilitas maka kejadian gempa dengan intensitas dan probabilitas tertentu dapat diperkirakan (Suku, 2014 dalam Saputra *et al.* (2020)). Konsep probabilitas dalam analisis *seismic hazard* dikenal istilah *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). Dengan metode PSHA ketidakpastian dalam menentukan parameter-parameter gempa seperti magnitude maksimum, pemiihan persamaan GMPE, pemilihan model (*recurrence model*), dan *reccurence rate* ikut diperhitungkan dengan cara menerapkan konsep *logic tree* (Widodo, 2018 dalam Saputra *et al.*(2020)). Metode PSHA adalah metode analisis bahaya gempa *probabilistic* dengan memperhitungkan dan menggabungkan ketidakpastian dari magnitude, lokasi, dan waktu kejadian gempa. Hasil analisis ini berupa probabilitas parameter gempa pada tingkat selesainya

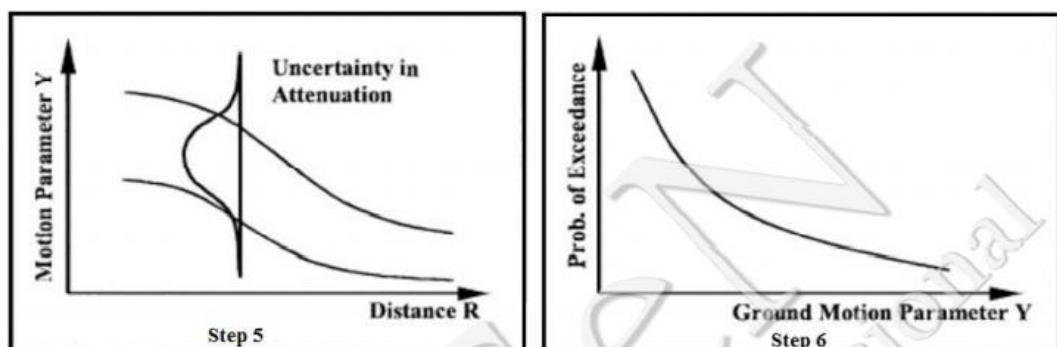
periode tertentu. Tahapan analisis probabilistik dalam menentukan *Peak Ground Acceleration* (PGA) disajikan pada Gambar 3.7, Gambar 3.8 dan Gambar 3.9.



Gambar 3. 6 (Kiri) Identifikasi sumber-sumber gempa; (Kanan) Menghitung parameter seismik) (PuSGeN, 2017).



Gambar 3. 7 (Kiri) Menghitung Probabilitas Magnitude; (Kanan) Menghitung Distribusi Probabilitas Jarak (PuSGeN, 2017).



Gambar 3. 8 (Kiri) Menghitung Percepatan Maksimum dengan Berbagai Magnitude; (Kanan) Menghitung Ketidakpastian Kejadian Gempa, Basaran, dan Prediksi Percepatan Max PuSGeN (2017).

Dengan menggunakan konsep probabilitas total, kemungkinan parameter X melampaui satu nilai x tertentu, diberikan dalam bentuk integrasi dalam keseluruhan rentang magnitude dan jarak untuk rentang waktu yang ditinjau dan dinyatakan dalam persamaan (3.14) (Makrup, 2013 dalam Saputra dkk. (2020)) sebagai berikut.

$$P_X(x) = \nu \int_M \int_R P[X > x \mid m, r] f_M(m) f_R(r) dr dm \quad (3.14)$$

dengan:

$P_X(x)$ = probabilitas total dari suatu gempa yang menghasilkan percepatan puncak $X > x$, magnitude M , jarak R selama rentang waktu yang ditinjau,

f_M = fungsi probabilitas magnitude,

f_R = fungsi probabilitas jarak,

$P(X > x \mid m, r)$ = probabilitas sebuah gempa dengan magnitude m pada jarak r yang memberikan percepatan maksimum X di lokasi lebih tinggi dari x .

3.7 Menentukan Gerakan Tanah Desain

Parameter gerakan tanah yang diperlukan untuk menentukan gerakan desain (design motion) yang dapat digunakan untuk kepentingan struktur di atas permukaan tanah disebut gerakan tanah desain. Metode perhitungan dijelaskan dalam langkah-langkah berikut (Makrup, L., 2009) dalam Artati (2023).

1. Perkiraan nilai parameter gempa yang disebabkan oleh magnitude tertentu dan jarak dari site ke sumber tertentu (hubungan atenuasi).
2. Probabilitas magnitude tertentu akan terlampaui selama periode studi (fungsi distribusi probabilitas magnitude).
3. Probabilitas jarak tertentu akan terlampaui untuk satu geometri sumber gempa tertentu (fungsi distribusi probabilitas jarak).

3.8 Deagregasi Bahaya Gempa

Konsep dasar PSHA adalah menghitung ancaman gempa dengan mengumpulkan semua hasil kejadian gempa yang mungkin terjadi di masa mendatang (Makrup, 2009 dalam Sunardi dkk. (2016)). Namun demikian,

kemungkinan magnitude (M) dan jarak (R) dari lokasi ke sumber gempa dominan yang memberikan dampak bahaya terbesar pada lokasi tersebut tidak dapat diidentifikasi dengan jelas dari hasil PSHA. Salah satu kelemahan PSHA adalah bahwa hasilnya belum dapat digunakan secara langsung untuk membuat desain percepatan tanah untuk analisis gempa lanjutan.

Deagregasi adalah proses untuk menentukan magnitude (M) dan jarak (R) dominan hasil dari PSHA yang memberikan kontribusi bahaya terbesar pada suatu site pada periode ulang gempa dan periode struktur bangunan tertentu. Kekuatan dan jarak dominan yang memberikan kontribusi bahaya terbesar pada suatu site ditentukan berdasarkan konsep titik berat kurva deagregasi. Representasi deagregasi ditunjukkan pada persamaan 3.15 dan 3.16.

$$M_{dominan} = \frac{\sum Mi \text{ (kontribusi kejadian/tahun)}}{\sum \text{(kontribusi kejadian/tahun)}} \quad (3.15)$$

$$R_{dominan} = \frac{\sum Ri \text{ (kontribusi kejadian/tahun)}}{\sum \text{(kontribusi kejadian/tahun)}} \quad (3.16)$$

Secara keseluruhan, deagregasi serupa dengan membuka misteri bahaya gempa probabilistik yang menyediakan visualisasi dan pengertian tentang pentingnya kekuatan (*magnitude*) dan jarak spesifik dalam persoalan tersebut (Makrup, 2009 dalam Sunardi et al. (2016)). Proses deagregasi sangat diperlukan untuk memilih data percepatan tanah asli (*original*) yang selanjutnya akan dilakukan proses *spectral matching*, sehingga diperoleh desain percepatan tanah sintetis dan respon spektra.

3.9 Respon Spektra Target

Dalam Artati (2023) mengatakan bahwa respon spektra target adalah respon spektra di batuan dasar dari semua mekanisme sumber gempa yang terdiri dari besaran perpindahan (*displacement*), kecepatan (*velocity*) dan percepatan (*acceleration*) dalam berbagai periode. Respon spektra target digunakan sebagai acuan untuk proses analisis *spectral matching* agar menghasilkan gerakan tanah sintetis (*Ground Motion Syntetic*) pada wilayah yang ditinjau. Hasil analisis deagregasi pada suatu wilayah dapat digunakan untuk menentukan respon spektra target untuk masing-masing sumber gempa. Respon spektra target untuk masing-

masing sumber gempa dapat ditentukan dengan menghitung kembali respon spektra di batuan dasar dari berbagai fungsi GMPE yang dipergunakan masing-masing sumber gempa dengan memperhatikan *logic tree* yang digunakan. Selanjutnya diskalakan dengan nilai respon spektra gabungan dari hasil analisis hazard gempa yang telah diperoleh sebelumnya untuk periode pendek ($T=0.2$ detik) dan periode panjang ($T=1$ detik).

3.10 Ground Motion Synthetic

Pembuatan *ground motion synthetic* dilakukan berdasarkan hasil analisis PSHA dan Deagregasi Hazard. *Uniform Hazard Spectrum* (UHS) yang diperoleh dari analisis PSHA akan dijadikan sebagai respon spektra target dalam proses analisis. Respons spektra target merupakan respons spektra pada batuan dasar untuk berbagai sumber gempa dengan fungsi atenuasi yang dipergunakan. Selanjutnya, respons spektra fungsi atenuasi yang dipergunakan diskalakan dengan respons spektra gabungan hasil analisis PSHA, pada periode pendek $T = 0,2$ detik dan periode panjang $T = 1$ detik. Respons spektra yang sudah di skalakan ini selanjutnya disebut respons spektra target Sunardi et al.(2016). Sedangkan jarak & magnitude dominan, dan jenis sumber gempa yang diperoleh dari hasil analisis deagregasi hazard akan dijadikan dasar atau acuan dalam memilih rekaman-rekaman gempa yang memiliki kesamaan karakteristik dengan lokasi yang ditinjau. Setelah *Uniform Hazard Spectrum* (UHS) dan data rekaman gempa diperoleh maka langkah selanjutnya membuat *gorund motion synthetic* dengan melakukan proses *matching* antara spektra target dan rekaman gempa pilihan menggunakan bantuan program SeismoMatch, Saputra & Makrup (2021).

3.11 Kecepatan Gelombang Geser (Vs)

Kecepatan gelombang geser (*shear wave*) adalah paramater yang penting untuk menentukan karakteristik dinamika tanah. Gelombang S di perlukan dalam analisa dan evaluasi *site effect* khususnya pada lapisan sedimen yang berada diatas batuan dasar. Vs ditentukan dari perambatan gelombang seismik yang tegak lurus terhadap arah rambatan gelombangnya. Nilai kecepatan gelombang geser dapat merupakan representasi dari sifat geser struktur tanah. Beberapa metode dapat digunakan untuk

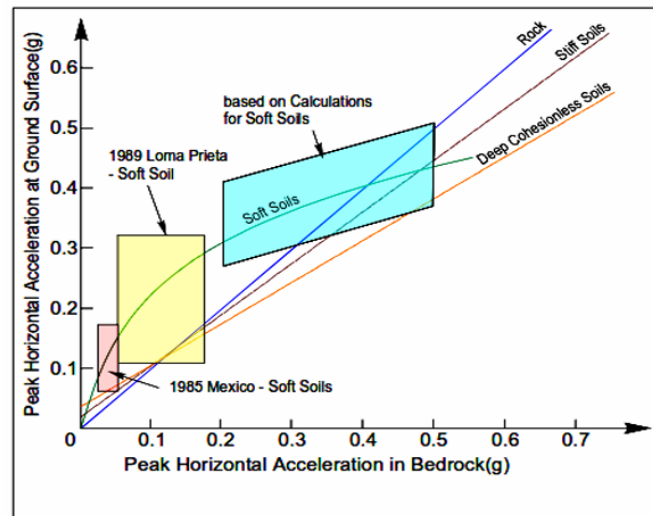
menghitung kecepatan gelombang geser tanah, diantaranya metode geofisika dan metode geoteknik. Kecepatan gelombang geser dapat dicari dengan menggunakan beberapa teknik misalnya teknik lobang silang (*cross-hole technique*), *downhole logging*, N-SPT *value* dan metode survei lainnya, Sungkowo (2016). Berikut klasifikasi kelas situs menurut (SNI 1726, 2019).

Tabel 3. 1 Klasifikasi Kelas Situs Tanah
(ASCE 7-16, SNI 1726:2019)

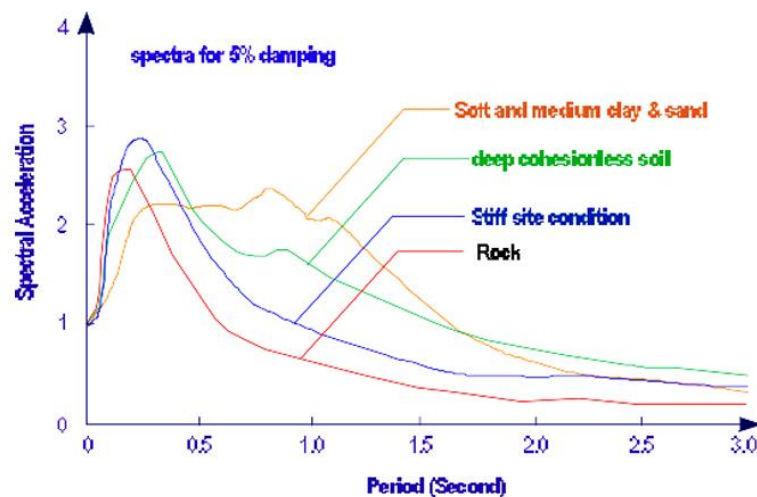
Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/dt)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (Batuan Keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (Batuan Sedang)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak)	350 sampai 750	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
SD (Tanah Sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (Tanah Lunak)	< 175	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 meter dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas $PI > 20$ 2. Kadar air (w) $\geq 40\%$ dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{S}_u < 25$ kPa		
SF (Tanah Khusus, Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon spesifik (<i>Site-Spesifik Response Analysis</i>))	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti : - Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi tanah lempung sangat sensitif tanah tersementasi lemah - Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan > 3 meter) - Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7.5$ meter dengan Indeks Plastisitas > 75) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ meter dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa		

3.12 Respon Dinamika Tanah

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Idriss (1990) dan Kramer (1996) mengemukakan bahwa kondisi tanah yaitu jenis lapisan tanah dan tebal lapisan tanah sangat mempengaruhi percepatan maksimum dan respon spektra yang terjadi di permukaan. Bentuk respon spektra dipengaruhi secara signifikan oleh jenis tanah, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.9 dan 3.10



Gambar 3. 9 Pengaruh jenis tanah terhadap perubahan percepatan After Idriss, (1990)



Gambar 3. 10 Pengaruh jenis tanah terhadap bentuk respon spektra (Kramer S.L., 1996)

Tanah lempung dengan konsistensi soft-medium terlihat mengalami rentang periode yang lebih lama dibandingkan rentang jenis tanah lainnya. Hal ini menunjukkan pentingnya evaluasi gempa dengan memperhitungkan kondisi tanah dan geologi lokal, sebab letak lapisan batuan dasar yang sangat dalam dapat mengakibatkan terjadinya variasi besaran amplifikasi yang cukup signifikan tergantung dari stratifikasi lapisan tanah di atasnya, Aldiamar (2007).

3.13 Parameter Dinamika Tanah

Respon tanah terhadap beban siklik sangat mempengaruhi sifat dan penyebaran kerusakan gempa. Respon tanah ditentukan oleh parameter dinamik tanah. Parameter dinamik yang digunakan dalam analisis respon dinamika tanah adalah modulus geser maksimum (G_{max}), kecepatan rambat gelombang geser (V_s) dan redaman (ξ). Perilaku tanah bersifat nonlinier walaupun dengan regangan yang sangat kecil. Saat amplitude regangan geser meningkat, perilaku nonlinier ini menyebabkan kekakuan tanah berkurang dan redaman bertambah.

Pengujian laboratorium menunjukkan bahwa kekakuan dinamik pada prinsipnya tergantung pada kepadatan tanah, tegangan efektif, plastisitas tanah dan amplitude regangan. Pada pendekatan linier perpotongan modulus geser merupakan hasil modulus geser maksimal (modulus geser pada tingkat regangan yang sangat rendah) G_{max} dan faktor reduksi modulus G/G_{max} . Parameter dinamik tanah diperoleh melalui pengujian di lapangan dan laboratorium (Muntafi, 2012) dalam Artati (2023).

Nilai G_{max} dan V_s biasanya dikorelasikan dengan kuat geser tanah yang diperoleh dari tes laboratorium atau tes lapangan seperti nilai N-SPT dan q_c sondir. Tabel 3.1, Tabel 3.2, dan Tabel 3.3 menunjukkan korelasi empiris antara G_{max} dan q_c , G_{max} dan V_s , V_s dan q_c dari hasil penelitian Barros (1991) dalam Artati (2023)

Tabel 3. 2 Korelasi antara G_{max} dengan q_c dalam Artati (2023).

Referensi	Korelasi G_{max}	Jenis Tanah	Keterangan
Rix dan Stokoe (1991)	$G_{max} = 1634 (q_c)^{0.250} (\sigma_v)^{0.375}$	Pasir	G_{max} q_c σ_v dalam kPa
Mayne dan Rix (1993)	$G_{max} = 406 (q_c)^{0.695} (e_0)^{-1.13}$	Lempung	G_{max} q_c e_0 dalam kPa
Bouckovalas et al (1989)	$G_{max} = 28 (q_c)^{1.40}$	Lempung	G_{max} q_c dalam MPa

Tabel 3. 3 Korelasi antara G_{max} dengan V_s dengan SPT dalam Artati (2023)

Referensi	Korelasi G_{max} (kPa)	Korelasi V_s (m/det)	R	Jenis Tanah
Ohsaki, Iwasaki (1973)	$G_{max} = 11500N^{0.8}$		0.888	Semua (Jepang)
Ohta, Goto (1978)		$V_s = 85.3N^{0.341}$	0.72	Semua (Jepang)
Imai, Tonouchi (1982)	$G_{max} = 14070N^{0.68}$	$V_s = 96.9N^{0.314}$	0.867	Semua (Jepang)
Seed et al (1983)	$G_{max} = 6220N$			Pasir (USA)
Sykora, Stokoe (1983)		$V_s = 101N^{0.29}$	0.84	Pasir (USA)

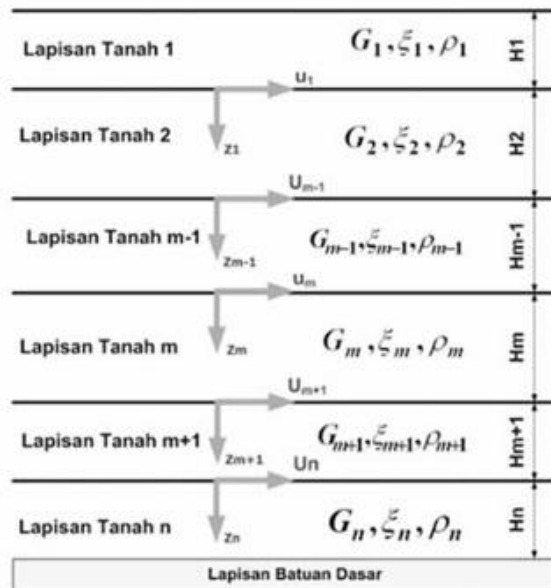
Tabel 3. 4 Korelasi antara V_s dengan q_c dalam Artati (2023)

Referensi	Korelasi V_s (m/det)	Jenis Tanah	Keterangan
Sykora, Stokoe (1983)	$V_s = 1.7 q_c + 440$	Non Kohesif	V_s dalam fps dan q_c dalam kg/cm ²
Baldi et al (1989)	$V_s = 277 (q_c)^{0.13} (\sigma_{v0})^{0.27}$		q_c dan σ_{v0} dalam Mpa dan V_s dalam m/det ²

3.14 Perambatan Gelombang

Hasil perambatan gelombang dari batuan dasar ke permukaan tanah berupa respon dinamik tanah. Perambatan gelombang dari sumber gempa berubah arah menjadi vertikal ke permukaan disebabkan oleh lapisan tanah yang umumnya menerus horizontal dan kepadatan tanah lebih kecil pada lapisan yang lebih atas. Dengan demikian, gelombang satu dimensi (1D) dapat dimodelkan untuk menggambarkan bagaimana perambatan gelombang ke arah vertikal dari batuan dasar ke permukaan tanah. Dengan syarat lapisan tanah diasumsikan mempunyai panjang tak terbatas pada arah horizontal, Aldiamar (2007).

Untuk menyederhanakan model, lapisan horizontal dianggap tak terhingga dan lapisan dasar dianggap sebagai sistem *half space*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11, dimana setiap lapisan memiliki karakteristik isotropik dan homogen dengan ketebalan lapisan (h), rapat massa (ρ), modulus geser (G) dan damping rasio (ξ).



Gambar 3. 11 Pemodelan Lapisan Tanah untuk Perambatan Gelombang 1D

3.15 Respon spektra

Dari hasil deagregasi pada analisis *seismic hazard*, maka akan diperoleh magnitude dan jarak episenter dari satu gempa yang mewakili. Nilai tersebut di gunakan sebagai dasar untuk memilih *time histories* yang sesuai pada lokasi sumber gempa analisis *seismic hazard*. Menurut Pawirodikromo (2012), respon spektra adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode struktur T , lawan respon-respon maksimumnya untuk suatu rasio redaman dan beban gempa tertentu. Respon spektra adalah grafik yang menggambarkan reaksi maksimum dari sistem satu derajat kebebasan (*single degree of freedom*) terhadap suatu beban dinamis sebagai fungsi dari frekuensi alami dan damping rasio dari sistem tersebut. Reaksi ini dapat berupa percepatan, kecepatan dan perpindahan, Aldiamar (2007).

Respon spektra juga dapat digambarkan dalam bentuk *tripartite spectrum* yang menggambarkan reaksi maksimum percepatan, kecepatan dan perpindahan dalam suatu grafik. Kelebihan dari bentuk ini adalah maksimum respon dari percepatan, kecepatan dan perpindahan dapat diketahui dalam keseluruhan rentang periode yang diinginkan. Untuk kebutuhan desain praktis, maka respon spektra desain

dibuat dengan bentuk respon spektra yang telah dinormalisir dengan nilai percepatan maksimum di batuan dasar. Bentuk respon spektra di desain lebih sederhana agar lebih mudah dipakai dalam menentukan faktor beban gempa. Penyederhanaan respon spektra desain dapat dilakukan dengan cara mengambil selubung dari respon spektra. Mengambil rata-rata ditambah 1 kali standar deviasi dari kumpulan respon spektra.

3.16 Amplifikasi

Menurut (Pawirodikromo, 2012), amplifikasi akibat adanya pengaruh kondisi tanah setempat (*site effects*) dapat diperoleh dengan 2 cara. Cara yang pertama yaitu berdasarkan data rekaman respon tanah akibat gempa dari tempat-tempat yang berbeda (pada kejadian yang sama) dan cara yang kedua adalah berdasarkan pada analisis numerik rambatan gelombang geser dari tanah dasar (*base rock*) sampai di permukaan tanah.

3.16.1 Amplifikasi Respons Tanah Berdasar Pada Rekaman Gempa

Stewart dkk (2004) dalam (Pawirodikromo, 2012) mengatakan bahwa amplifikasi gerakan tanah diperoleh berdasar pada *weak motion amplification* maupun *strong motion amplification*. *Weak motion amplification* yang dimaksud adalah bahwa amplifikasi diperoleh dari rekaman *weak sources* seperti gempa *aftershock*, *micro tremor* maupun *nuclear explosions*.

a. Amplifikasi Berdasar pada *Weak Motion Data*

Borcherdt dan Gibbs (1976) dan Roger et al. (1984) dalam (Pawirodikromo, 2012) melakukan studi akibat *nuclear explosion* di Gurun Nevada USA yang kemudian di rekam di 4-kondisi tanah yaitu di tanah lumpur (Bay Mud) di San Francisco, di tanah alluvium di San Francisco dan Los Angeles, di tanah endapan berbatuan (*sedimentary bedrock*) dan di tanah batu. Hasil dari studi ini menunjukkan bahwa amplifikasi sampai level 10 kali terjadi di tanah lumpur (pada $T_s = 1$ dt), amplifikasi pada level 2 - 5 terjadi pada tanah alluvium dan amplifikasi antara 1 - 3 terjadi pada tanah berbatuan. Berdasar pada studi ini menunjukkan

bahwa amplifikasi cenderung membesar pada tanah yang semakin lunak, walaupun untuk sementara masih mengabaikan kandungan frekuensi beban dinamik.

b. Amplifikasi Berdasar pada *Strong Motion Data*

Amplifikasi gerakan tanah ini didasarkan atas rekaman gempa pada gempa Loma Prieta 1989. Gempa ini telah berhasil direkam dalam jumlah yang cukup banyak, sebagai basis data analisis amplifikasi gerakan tanah. Borchardt dan Glassmoyer (1994) dalam (Pawirodikromo, 2012) telah memakai 37 rekaman di daerah San Francisco. Amplifikasi dibahas di dasarkan atas rekaman yang terletak di dekat tanah berbatu, di tanah endapan berbatu dan tanah berbatu kompleks. Hasil kajian dinyatakan dalam plot antara amplifikasi lawan kecepatan gelombang geser Vs pada rentang kedalaman 30 meter (30-m Vs).

3.16.2 Amplifikasi Berdasarkan *Ground Response Analysis*

Selain memakai data rekaman gempa, maka amplifikasi gerakan tanah akibat gempa juga dapat diperoleh secara analisis. Analisis yang dimaksud adalah analisis dinamik lapis-lapisan tanah endapan yang salah satunya dapat dilakukan mirip seperti analisis dinamika struktur. Pada analisis tersebut beban gempa bekerja pada dasar batuan (*base rock*) dan yang akan dicari adalah respons di setiap lapis-lapisan tanah termasuk yang paling penting yaitu respons permukaan tanah atau di elevasi dasar fondasi. Apabila respons di tempat-tempat tersebut telah diperoleh, maka amplifikasi atau deamplifikasi segera dapat diperoleh yaitu dengan membandingkannya dengan beban gempa yang bekerja pada batuan dasar (*base rock*) (Pawirodikromo, 2012).

a. Metode Analisis

Metode analisis dinamik lapis-lapisan tanah dapat memakai metode diskrit atau memakai metode kontinum. Pada metode diskrit, lapis-lapisan tanah diidentikkan sama dengan tingkat-tingkat pada bangunan, sehingga tiap-tiap lapis akan mempunyai massa, kekakuan dan redaman. Banyaknya masa tanah endapan akan sama dengan banyaknya lapisan.

Pada metode kontinum, endapan tanah dianggap homogen atau dibawa kebentuk homogen sehingga tanah endapan berupa massa yang kontinum.

Penyelesaian problem dinamika dapat diperoleh dengan menyelesaikan persamaan diferensial media kontinum. Metode mana yang dipakai akan dipengaruhi oleh banyak hal.

b. Metode Respons Tanah (*Ground Response Model*)

Pada model diskrit, hal yang paling banyak mendapat bahasan adalah kekakuan lapisan tanah. Sebagaimana diketahui bahwa perilaku umum tanah bersifat non-linier. Namun pada intensitas beban yang relatif kecil respons tanah dapat dianggap linier. Untuk itulah model respons tanah dapat dikategorikan menjadi model linier atau ekuivalen linier dan model non-linier.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian berada di wilayah Kota Sorong. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang bersumber dari *United States Geological Survey* (USGS), berupa katalog gempa bumi yang meliputi informasi waktu kejadian, magnitudo, kedalaman dan koordinat episenter. Proses pengolahan data dilakukan pada bulan September 2024 sampai bulan Januari 2026.

4.2 Pengumpulan Data Penelitian

Data gempa yang digunakan dalam penelitian ini adalah data rekaman sejarah kejadian gempa dari tahun 1960 - 2023 yang diperoleh dari katalog USGS dengan luas wilayah pengambilan data dibatasi pada radius ≤ 500 km dari titik koordinat pengambilan data dengan *longitude* 131.288269 dan *latitude* -0.881887. Kemudian data gempa yang digunakan adalah data kejadian gempa dengan magnitudo $M_w \geq 5$ dengan kedalaman gempa ≤ 300 km.

4.3 Instrument Penelitian

Instrument utama yang diperlukan dalam penelitian ini adalah seperangkat komputer. Kemudian instrument pendukung dalam penelitian ini adalah penggunaan beberapa perangkat lunak (*software*) sebagai berikut:

1. *Software Matlab R2010a*, untuk mengoperasikan *software ZMAP* yang dimana *Software ZMAP* ini digunakan untuk pengolahan data gempa yaitu memisahkan antara gempa utama (*mainshock*) dan gempa susulan (*aftershock*), menentukan kelengkapan magnitudo serta menghitung parameter yang dipergunakan dalam analisis *hazard* gempa (mengestimasi nilai-a dan nilai-b masing-masing zona sumber gempa)
2. *Software SR Model* yang dikembangkan oleh Dr. Lalu Makrup, untuk menganalisis *hazard* gempa dan proses deagregasi.

3. *Software ArcGis* yang dikembangkan oleh *ESRI Corporation*, untuk membuat peta *spasial* berupa peta *seismic hazard*.
4. Analisis *spectral matching* untuk menentukan *ground motion* sintetik di batuan dasar yang dilakukan dengan bantuan *software SeismoMatch*.
5. Respon dinamika tanah yang dianalisis dengan menggunakan teori perambatan gelombang dengan bantuan *software Deepsoil*. Korelasi antara G_{max} dengan V_s dengan SPT yang digunakan adalah persamaan dari Ohta, Goto (1978) dan Imai, Tonouchi (1982) sebagaimana disajikan pada tabel 3.3.

4.4 Tahapan Analisis

Tahapan analisis atau Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam menyelesaikan penelitian ini adalah sebagai berikut:

4.3.1 Konversi Skala Magnitude

Konversi skala magnitude sebelum digunakan untuk analisis resiko gempa diperlukan karena data kejadian gempa yang dikumpulkan dari berbagai sumber umumnya menggunakan skala magnitude yang berbeda. Skala magnitude yang digunakan antara lain adalah *surface wave magnitude* (m_s), *Richter local magnitude* (M_L), *body wave magnitude* (m_b) dan *momen magnitude* (M_w). Skala magnitude tersebut dikonversi terlebih dahulu menjadi satu skala magnitude yang sama yaitu skala magnitude momen (M_w). Dalam penelitian ini digunakan data gempa wilayah Indonesia yang dikumpulkan dari berbagai sumber yang menghasilkan rumusan korelasi konversi magnitude untuk wilayah Indonesia (Asrurifak, 2010) yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Korelasi konversi antara beberapa skala magnitude untuk wilayah Indonesia (Asrurifak, 2010).

Korelasi Konversi	Jumlah Data (Events)	Range Data	Kesesuaian (R^2)
$M_w = 0.143M_s^2 - 1.051M_s + 7.285$	3.173	$4.5 \leq M_s \leq 8.6$	93.9%
$M_w = 0.114M_b^2 - 0.556M_b + 5.560$	978	$4.9 \leq M_b \leq 8.2$	72.0%
$M_w = 0.787M_E + 1.537$	154	$5.2 \leq M_E \leq 7.3$	71.2%
$m_b = 0.125M_L^2 - 0.389x + 3.513$	722	$3.0 \leq M_L \leq 6.2$	56.1%
$M_L = 0.717M_D + 1.003$	384	$3 \leq M_D \leq 5.8$	29.1%

4.3.2 *Declustering*

Declustering merupakan proses pemisahan antara gempa utama (*mainshock*) dan gempa susulan (*aftershock*) dengan menggunakan kriteria rentang waktu dan jarak. Setelah dilakukan pengumpulan data dan penyeragaman skala magnitude, selanjutnya dilakukan pemisahan gempa utama dan gempa susulan. Analisis bahaya gempa probabilistik dilakukan berdasarkan kejadian gempa independen atau gempa utama. Kejadian-kejadian gempa dependen atau gempa susulan, seperti *foreshock* dan *aftershock* yang terjadi dalam suatu rangkaian gempa harus diidentifikasi sebelum melakukan analisis, Purbandini et al.(2017). Pemisahan gempa dependen dan independen pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bantuan *software Z-Map* yang di jalankan dalam *software Matlab R2010a*.

4.3.3 *Analisis Kelengkapan Data*

Riwayat kejadian gempa dan ketidakseragaman katalog gempa sangat penting dalam menilai *hazard* gempa suatu daerah. Oleh karena itu, diperlukan estimasi hazard gempa selama kurun waktu dimana kejadian gempa *independent* dengan magnitude tertentu dapat dikatakan lengkap dalam suatu katalog gempa. Ketidaklengkapan data (*incompleteness*) yang digunakan dalam analisis hazard gempa akan mengakibatkan parameter hazard gempa yang diperoleh menjadi terlalu kecil (*underestimated*) atau terlalu besar (*overestimated*). Analisis kelengkapan data gempa dilakukan dengan menggunakan bantuan *software ZMAP*. Kemudian dapat dilakukan plotting periode waktu terhadap frekuensi kejadian gempa independen pada rentang magnitude.

4.3.4 Pemodelan Zona Sumber Gempa

Pemodelan zona sumber gempa dilakukan dengan menginterpretasi kondisi geologi, geofisika, dan seismotektonik berdasarkan katalog kejadian gempa. Model sumber gempa tersebut akan memberikan gambaran distribusi episenter kejadian gempa historik, frekuensi kejadian gempa, dan pergeseran relatif lempeng (*slip rate*) suatu sumber gempa. Model sumber gempa diperlukan sebagai hubungan antara data kejadian gempa dengan model perhitungan yang digunakan dalam menentukan tingkat resiko gempa (Irsyam dkk dalam (Purbandini dkk., 2017). Zona sumber gempa yang digunakan dalam penelitian ini adalah sumber gempa *subduksi* dan sumber gempa *fault*.

a. Sumber Gempa Subduksi

Parameter dari model zona sumber gempa ini di areal subduksi bisa didapatkan dari data gempa historis meliputi lokasi subduksi yang dituangkan dalam koordinat *latitude* dan *longitude*, kemiringan bidang subduksi (*dip*), *rate*, dan *b-value* serta batas kedalaman area subduksi. Perhitungan nilai-b (*b-value*) untuk sumber gempa subduksi dilakukan dengan cara mengambil data-data gempa historis yang ada di daerah *Megathrust* tersebut, kemudian dilakukan analisis statistik dengan model *Maximum Likelihood* (Irsyam dkk., 2010).

b. Sumber Gempa Sesar (*Fault*)

Parameter-parameter yang diperlukan untuk analisis probabilitas dengan model zona sumber gempa sesar (*fault*) adalah mekanisme pergerakan, panjang dan lebar *fault*, *slip-rate*, *dip* dan *fault trace*.

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam analisis pemodelan sumber gempa sebagaimana tercantum dalam Butir 3.3.2.

4.3.5 Persamaan Atenuasi (*Ground Motion Prediction Equation, GMPE*)

Apabila ingin diturunkan suatu fungsi atenuasi maka diperlukan data percepatan tanah agar fungsi atenuasi yang diturunkan mendapatkan hasil baik untuk suatu wilayah penelitian. Karena belum tersedianya fungsi atenuasi yang diturunkan berdasarkan gempa-gempa di Indonesia, maka penggunaan persamaan

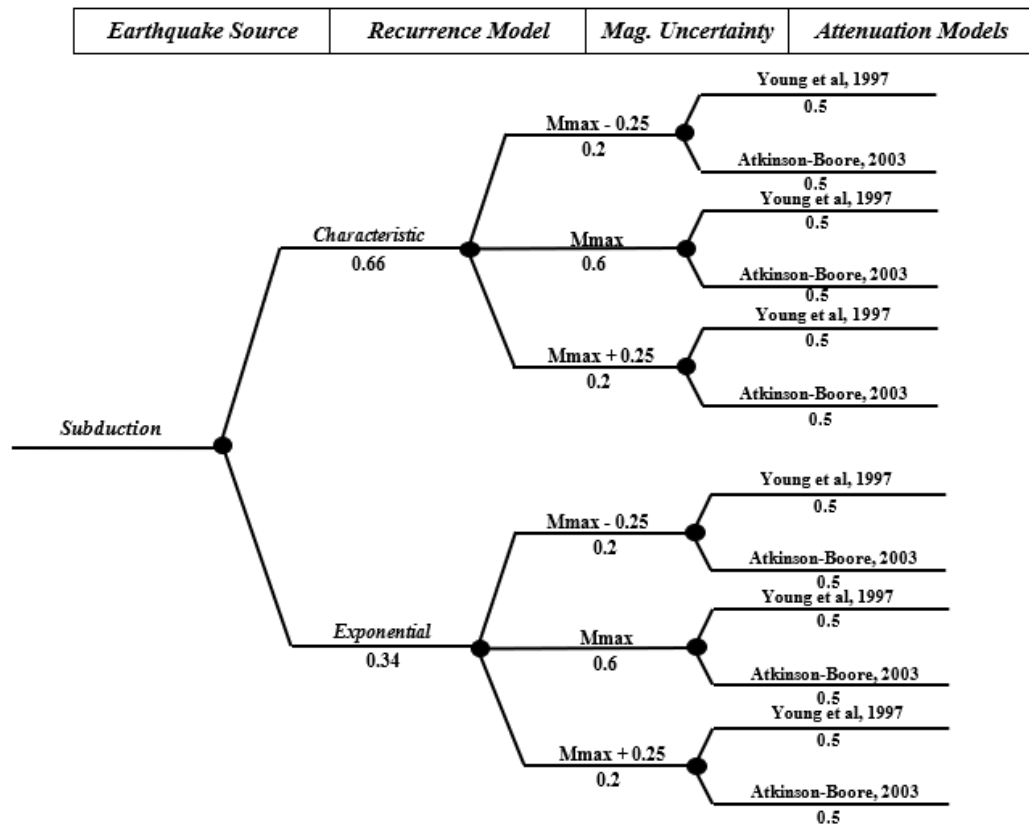
dari negara lain dapat dijadikan sebagai alternatif, pemilihan persamaan dari negara lain didasarkan pada kesamaan kondisi geologi dan tektonik di Indonesia. Pada penelitian ini, pemilihan persamaan merujuk pada penelitian terdahulu serta menyesuaikan dengan ketersediaan persamaan yang ada dalam *software* SR Model, maka dari itu persamaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. *Ground Motion Prediction Equation* untuk model sumber gempa subduksi:
 - Atenuasi Youngs *et al* (1997)
 - Atenuasi Atkinson – Boore (2003)
- b. *Ground Motion Prediction Equation* untuk model sumber gempa sesar (*shallow crustal*)
 - Sadigh *et al* (1997)
 - Boore – Atkinson (2006) NGA
 - Chiou – Young (2008) NGA

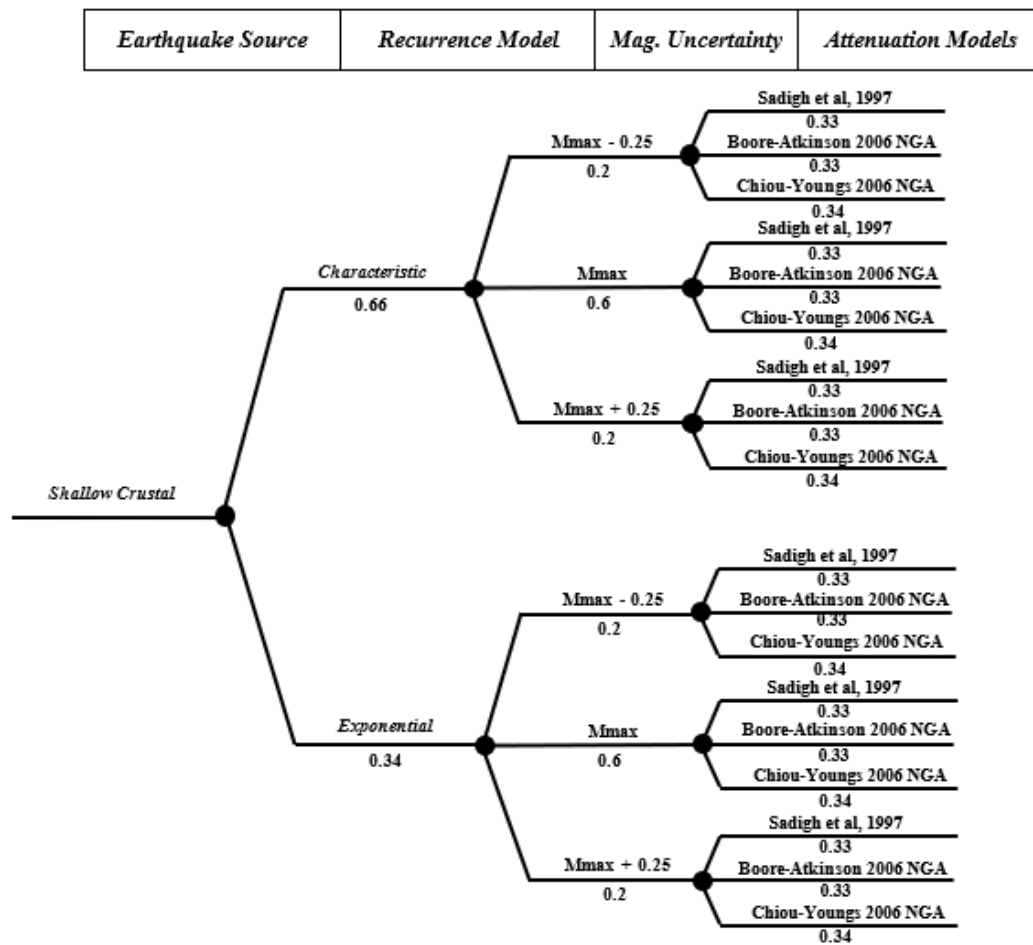
Adapun persamaan Atenuasi yang digunakan sebagaimana tercantum dalam Butir 3.3.2.

4.3.6 Logic Tree

Logic tree merupakan sebuah solusi untuk memperhitungkan ketidak pastian dalam menentukan parameter-parameter gempa dalam analisis *seismic hazard*. Parameter gempa yang dimaksud, yaitu *magnitude* maksimum, Persamaan GMPE, pemilihan model (*recurrence model*), dan *reccurence rate*. Dengan diberikannya faktor pembobot yang berbeda-beda pada masing-masing parameter maka *logic tree* akan mengontrol tingkat keakuratan dari penggunaan parameter yang telah dipilih. Setiap parameter yang dipilih kemudian diberikan suatu bobot, itu menggambarkan tingkat kepercayaan terhadap parameter yang digunakan. Jumlah bobot dari semua alternatif metode untuk parameter yang sama harus sama dengan 1. Contoh gambar model *Logic Tree* untuk sumber gempa subduksi dan *shallow Crustal* dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2 dibawah ini.



Gambar 4. 1 Model *Logic Tree* untuk Sumber Subduksi



Gambar 4. 2 Model Logic Tree untuk Sumber *Shallow Crustal*

4.3.7 Analisis Seismic Hazard

Analisis *seismic hazard* pada penelitian ini mengacu pada teori probabilitas total yang merupakan probabilitas jarak dan magnitude serta mempertimbangkan ketidaktentuan parameter magnitude, jarak dan intensitas terlampaui. Analisis *seismic hazard* gempa dilakukan dengan bantuan *software* SR Model. Hasil akhir dari analisis *hazard* gempa pada penelitian ini adalah percepatan gempa maksimum PGA, T = 0.2 detik, T = 1 detik dibatuan dasar dan permukaan untuk probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun. Adapun konsep probabilitas total yang digunakan sebagaimana tercantum dalam Butir 3.6.

4.3.8 Deagregasi Hazard Gempa

Analisis deagregasi dilakukan untuk memperoleh *controlling earthquake* atau gempa yang memberikan kontribusi terbesar terhadap *hazard* gempa pada suatu wilayah. Informasi yang akan disajikan berupa sumber gempa dominan, magnitude dominan, dan jarak dominan. Analisis deagregasi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bantuan software SR Model. Proses deagregasi menggunakan persamaan yang tercantum dalam Butir 3.8.

4.3.9 Pembuatan *Synthetic Ground Motion*

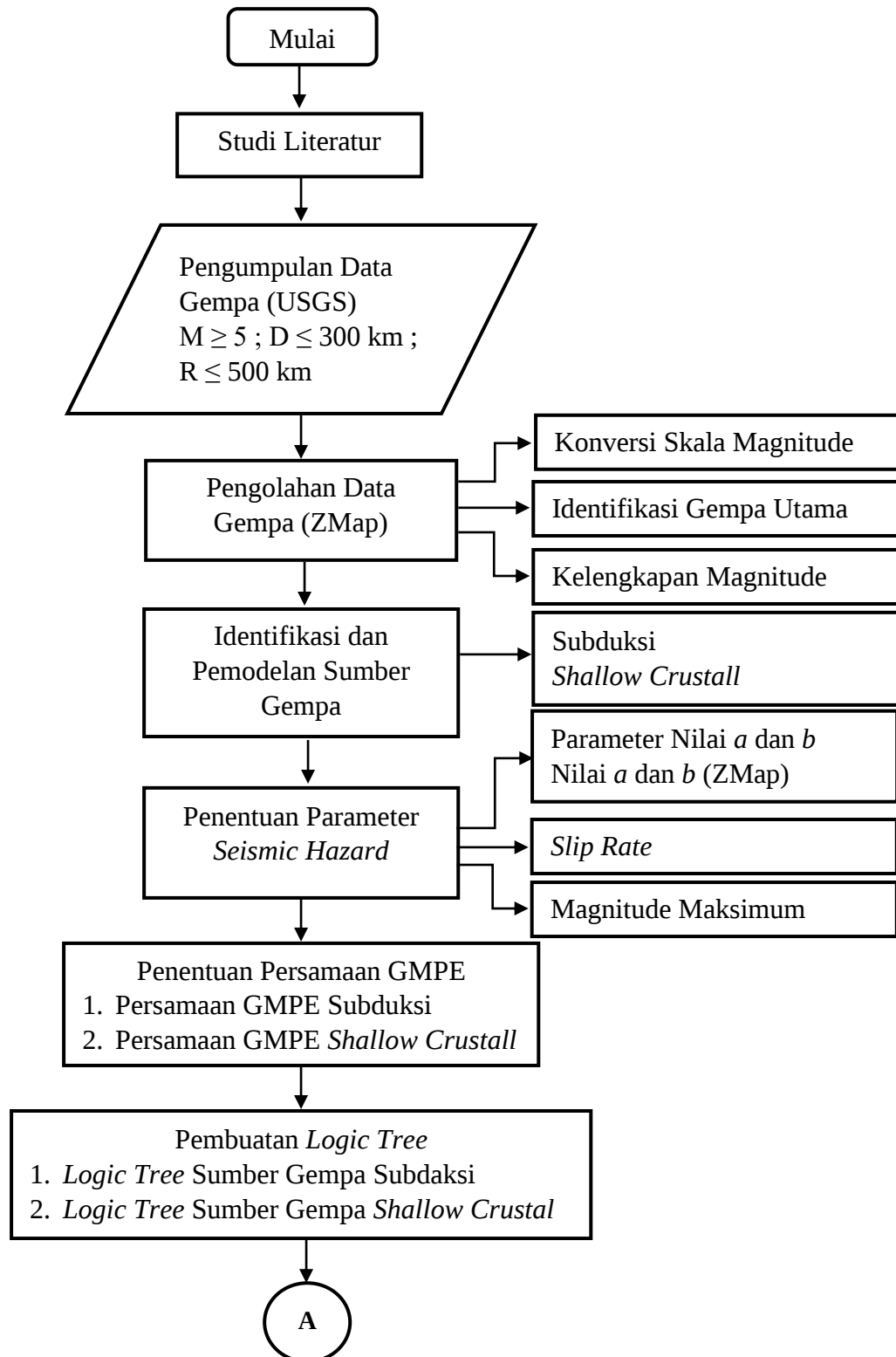
Dari analisis deagregasi hazard diperoleh jarak dominan, magnitude dominan dan jenis sumber gempa yang akan dijadikan dasar atau acuan dalam memilih rekaman-rekaman gempa yang memiliki kesamaan karakteristik dengan lokasi yang ditinjau. Perhitungan *Synthetic Ground Motion* dalam penelitian ini dengan menggunakan bantuan program *spectral matching* dengan data yang terdiri dari spektra target, *intensity envelope function*, nilai PGA, waktu interval dan *damping ratio*. Hasil dari *synthetic ground motion* dapat dijadikan alternatif yang dibuat dengan menskalakan input *accelerometer* yang memiliki karakteristik yang sama dengan hasil deagregasi terhadap spektra target yang telah ditentukan.

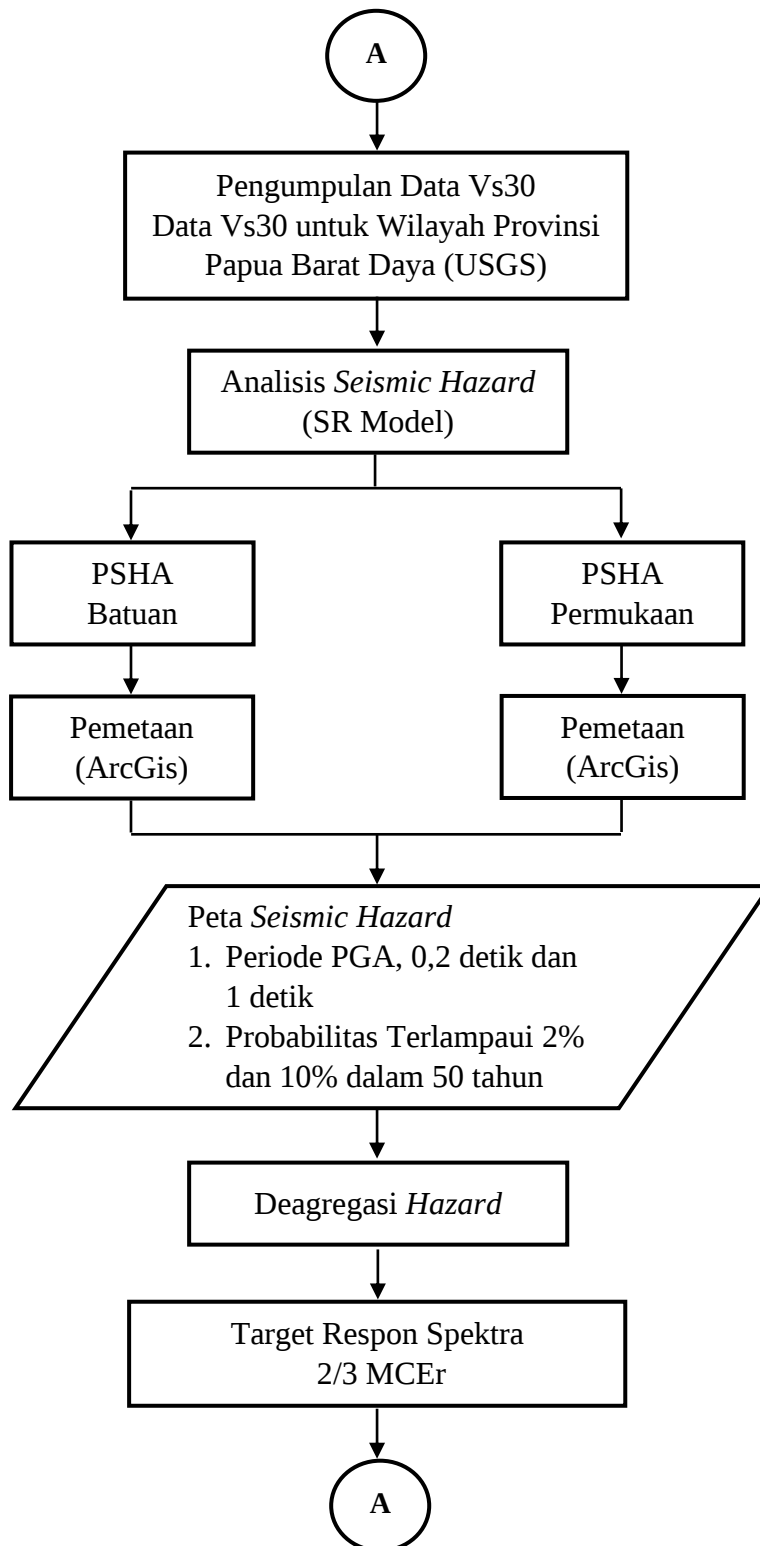
4.3.10 Analisis Respon Dinamika Tanah

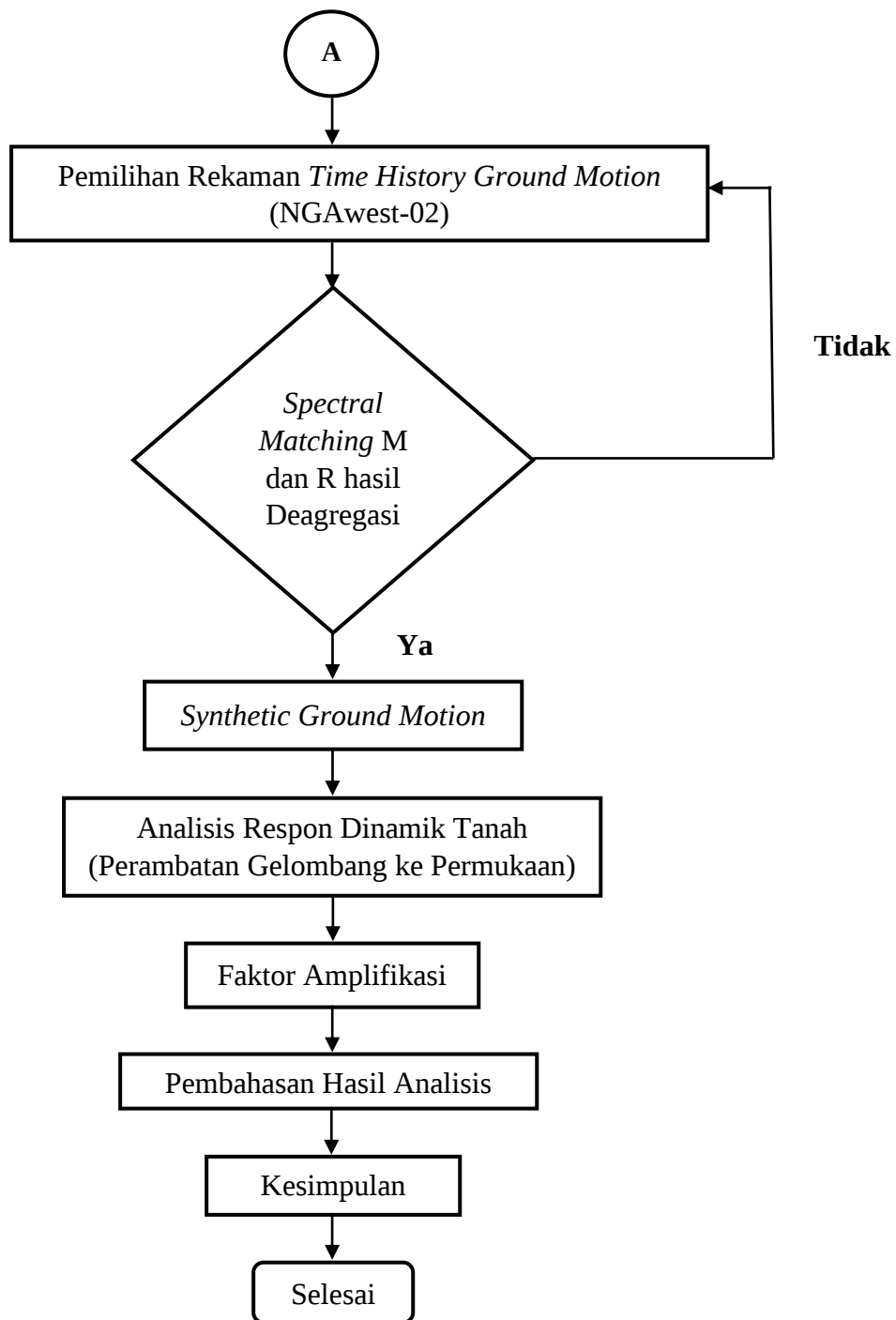
Analisis respon dinamika tanah dilakukan pada lokasi penelitian yang berada di Kota Sorong, Papua Barat Daya yang mana dilakukan secara vertikal menggunakan teori perambatan gelombang. Analisis menggunakan input *ground motion* sintetik di batuan dasar yang di dapat berdasarkan hasil analisis deagregasi dan proses *spectral matching*. Proses analisis respon dinamika tanah meliputi perambatan penentuan parameter dinamik tanah untuk titik yang ditinjau serta perambatan gelombang dari batuan dasar ke permukaan tanah. Proses perambatan gelombang dari batuan dasar ke permukaan tanah dilakukan dengan bantuan software Deepsoil v7.

4.5 Diagram Alir Penelitian

Tahapan-tahapan penelitian diatas dapat dirangkum dalam diagram alir sebagai berikut.





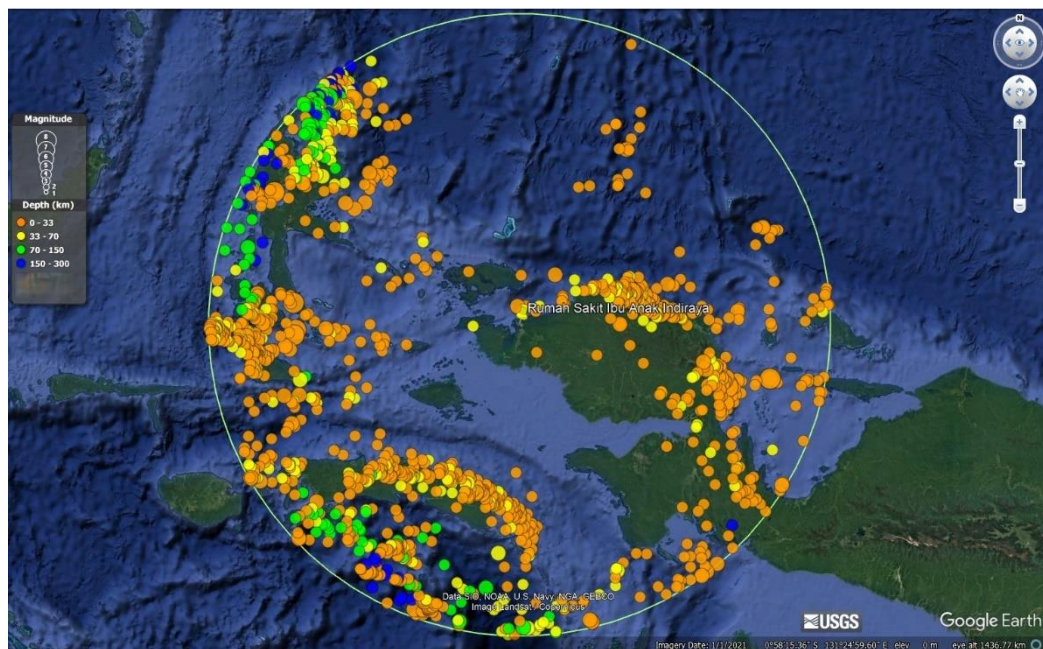


BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Gempa

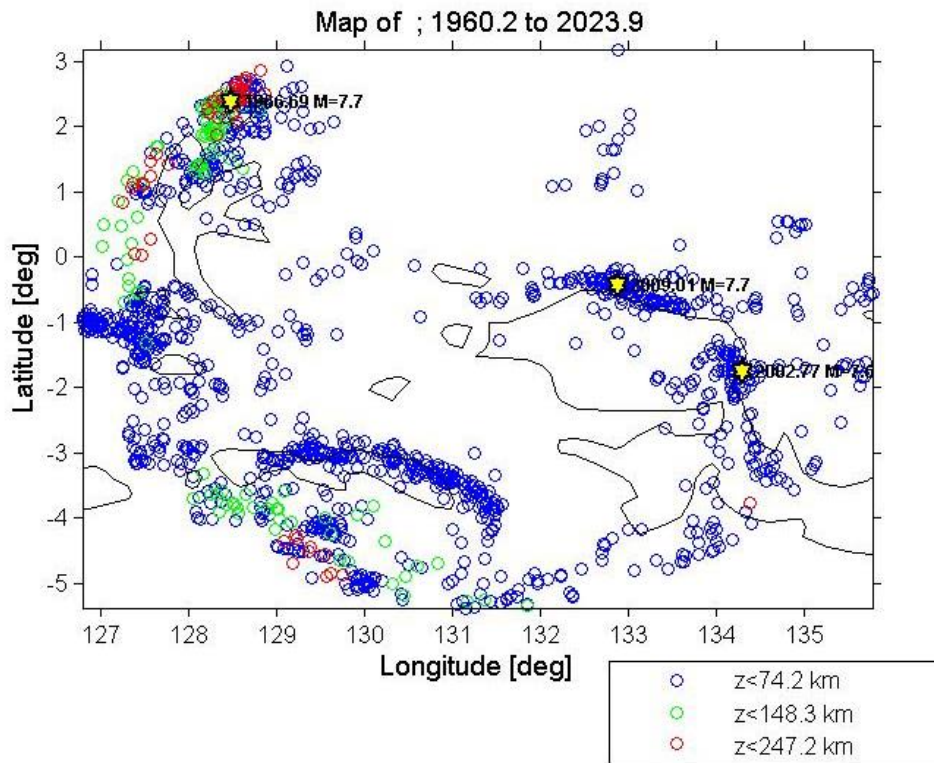
Data gempa yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kejadian gempa yang diambil dari USGS pada wilayah Pulau Papua dengan radius 500 km dari titik koordinat. Data gempa dibatasi dengan magnitude (M_w) minimum 5 dan kedalaman ≤ 300 km. Data dari katalog gempa yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dari tahun 1960 hingga 2023.



Gambar 5. 1 Data Gempa Dari Katalog USGS tahun 1960-2023 Dengan Magnitude $M \geq 5.0$ pada Radius ≤ 500 km dari Kota Sorong.

5.1.1 Konversi Skala Magnitude Gempa

Data gempa yang diperoleh dari USGS mulai tahun 1960-2023 terdiri dari beberapa jenis skala magnitude. Selanjutnya dilakukan konversi skala magnitude menjadi satu skala magnitude yang sama sebelum digunakan dalam analisis risiko gempa yaitu skala *momen magnitude* (M_w) yang mengacu pada korelasi konversi dari Asrurifak, 2010 pada tabel 4.1. Hasil dari konversi skala magnitude diperoleh data gempa dengan magnitude minimum $M \geq 5$ dan kedalaman ≤ 300 km pada Gambar 5.2.

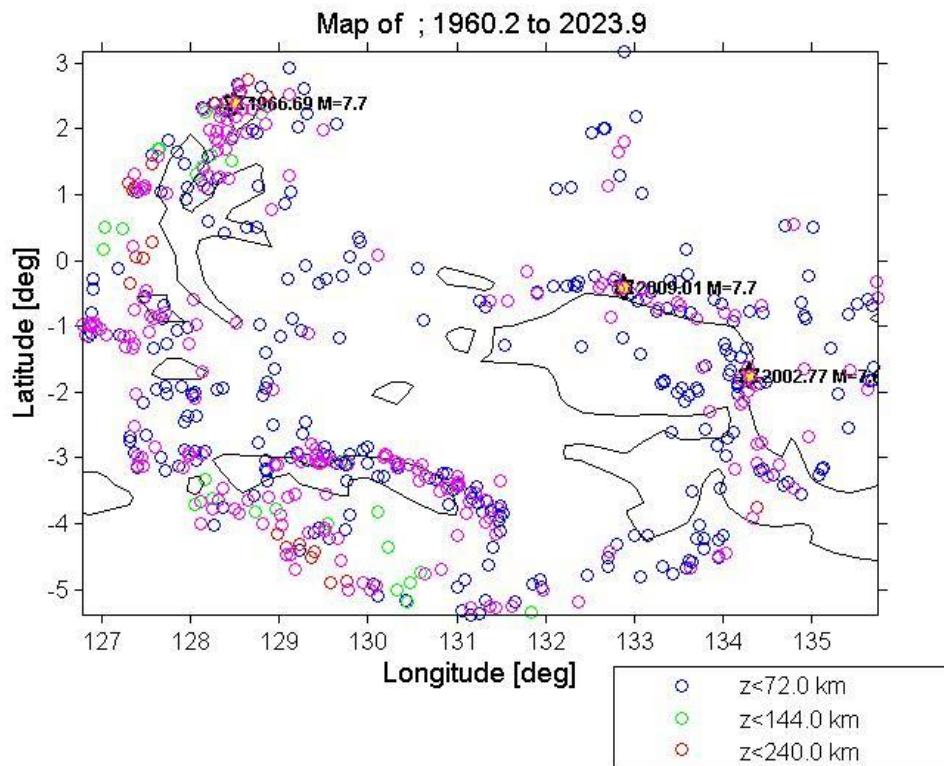


Gambar 5. 2 Distribusi Episenter Gempa Bumi Untuk Wilayah Kota Sorong dan Sekitarnya dari Tahun 1960-2023.

5.1.2 Pemisahan Gempa Utama dan Gempa Susulan

Gempa utama merupakan gempa dengan magnitudo terbesar yang diikuti oleh magnitudo yang lebih kecil saat sebelum dan sesudah terjadinya gempa utama. Gempa yang terjadi sebelum gempa utama dinamakan gempa rintisan atau *foreshock*, sedangkan gempa setelah gempa utama dinamakan gempa susulan atau *aftershock*. Gempa rintisan dan susulan inilah biasa disebut sebagai gempa dependen yang digunakan pula sebagai analisis resiko gempa selain gempa independen (*mainshock*). Data yang akan digunakan untuk menganalisis *hazard* adalah data gempa-gempa utama (*mainshock*), sehingga diperlukan pemisahan gempa utama (*mainshock*) dan gempa ikutan (*foreshock* dan *aftershock*). Pada penelitian ini, proses pemisahan gempa (*declustering*) dilakukan dengan menggunakan kriteria rentang jarak dan waktu hingga diperoleh gempa utama didasarkan pada metode empiris Gardner dan Knopoff (1974). Hasil dari pemisahan

gempa utama (*mainshock*) diperoleh 728 kejadian dari 1262 kejadian gempa yang ditunjukkan pada Gambar 5.3

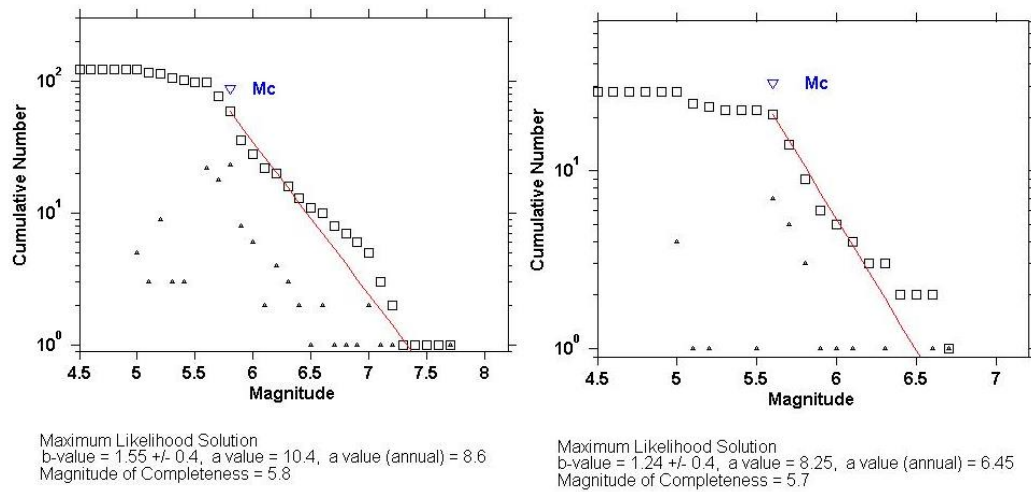


Gambar 5. 3 Hasil Analisis Pemisahan Gempa Utama (*mainshock*) Terhadap Gempa Rintisan (*foreshock*) dan Gempa Susulan (*aftershock*) Menggunakan Metode Gardner dan Knopoff (1974)

5.1.3 Analisis Kelengkapan Data Gempa M_c (*Magnitude Completeness*)

Kelengkapan data kejadian gempa sangat diperlukan dalam analisis hazard gempa secara probabilistik dikarenakan apabila data kurang lengkap maka saat dilakukan analisa risiko gempa dan saat menentukan parameter *seismic* (a-b parameter) berdasarkan metode Gutenberg-Richter akan menghasilkan parameter yang *underestimated* atau *over estimated*.

Dari hasil analisis terhadap kelengkapan data di wilayah Megathrust Philippine *Magnitude of Completeness* sebesar 5.8, sedangkan di wilayah Benioff Philippine *Magnitude of Completeness* sebesar 5.7, dapat dilihat pada Gambar 5.4 sebagai berikut.

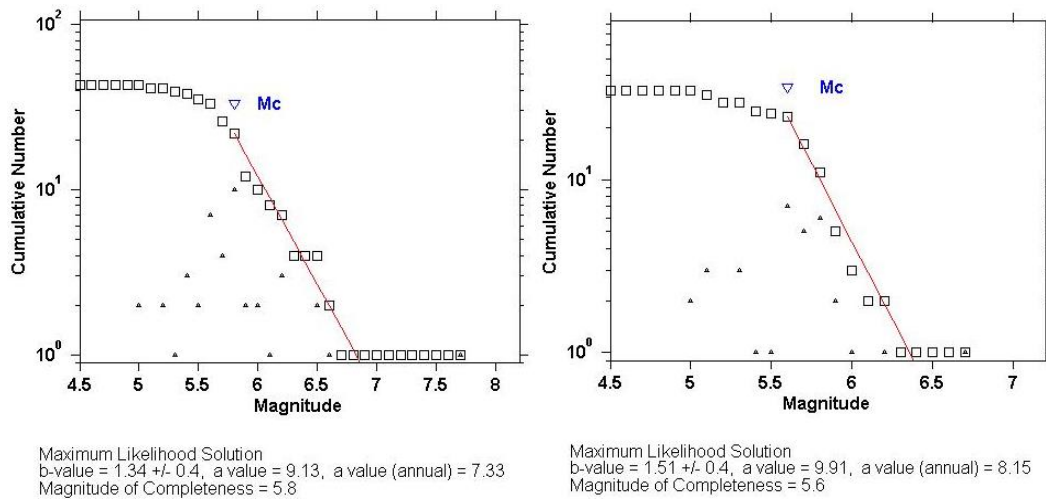


a. *Megathrust Philippine*

b. *Benioff Philippine*

Gambar 5. 4 Analisis Kelengkapan Data *Megathrust* dan *Benioff Philippine*

Dari hasil analisis terhadap kelengkapan data di wilayah *Megathrust* Sorong-Manokwari *Magnitude of Completeness* sebesar 5.8 sedangkan di wilayah *Benioff* Sorong-Manokwari *Magnitude of Completeness* sebesar 5.6, dapat dilihat pada Gambar 5.5 sebagai berikut.



a. *Megathrust* Sorong-Manokwari

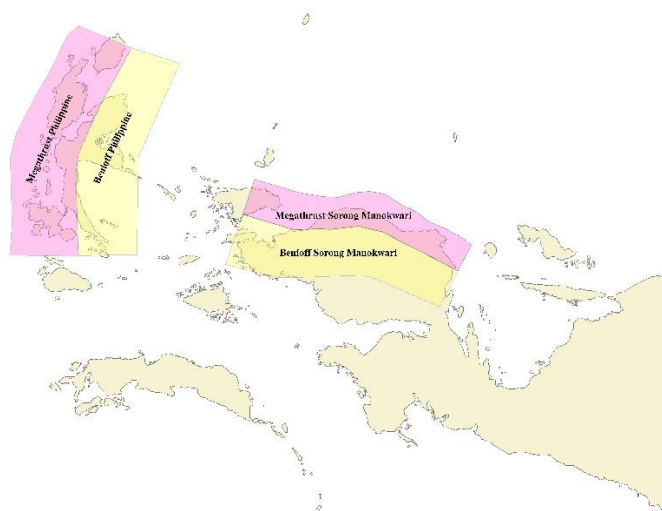
b. *Benioff* Sorong-Manokwari

Gambar 5. 5 Analisis Kelengkapan Data *Megathrust* dan *Benioff* Sorong-Manokwari

5.2 Identifikasi dan Pemodelan Sumber Gempa

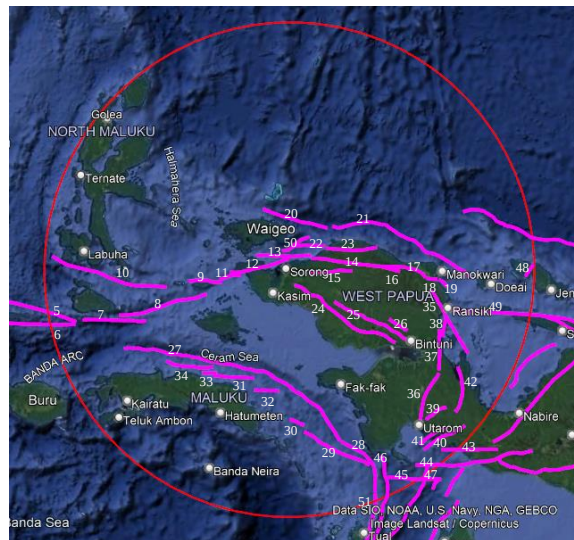
Pemodelan zona sumber gempa dilakukan untuk menghubungkan data kejadian gempa dengan metode perhitungan yang digunakan dalam menentukan tingkat hazard gempa. Dalam penelitian ini, penulis menyusun pemodelan sumber gempa meliputi pemodelan gempa subduksi dan *shallow Crustal*. Sumber gempa subduksi terdiri dari zona *megathrust* dan *Benioff*.

Zona *benioff* merupakan kelanjutan dari zona *megathrust* dengan sudut penunjaman yang relatif lebih besar. Sumber gempa subduksi yang digunakan yaitu zona *megathrust* yang diakomodasikan pada kedalaman 0-50 km sedangkan zona *Benioff* pada kedalaman 50-300km. Pemodelan sumber gempa dilakukan dengan melakukan interpretasi terhadap geologi, seismotektonik, geofisika berdasarkan katalog gempa yang digunakan. Sebelum dilakukan proses analisis lebih lanjut, perlu dilakukan identifikasi *fault-fault (fault trace)* disekitar wilayah penelitian. Pemodelan sumber gempa berdasarkan Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 diketahui sesar aktif terangkum sebanyak 82 sesar. Dalam penelitian ini penulis telah mengidentifikasi dan terdapat 49 sesar (*fault*) yang digunakan dalam penelitian ini. Pemodelan segmen subduksi dalam penelitian ini dibuat oleh penulis dengan jarak lokasi sumber gempa ke lokasi yang ditinjau dibatasi hingga 500 km dapat dilihat dalam Gambar 5.6.



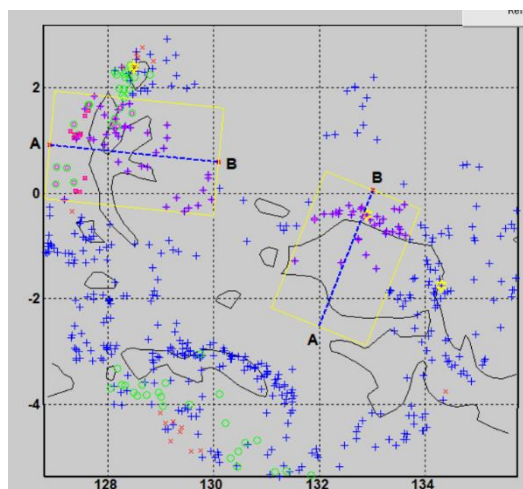
Gambar 5. 6 Identifikasi dan Pemodelan Sumber Gempa Subduksi di Papua dan Sekitarnya (*Megathrust* dan *Benioff*)

Sumber gempa *shallow crustal* terdiri dari sesar aktif di Pulau Papua, Maluku Utara dan sekitarnya dimana pemodelan sumber gempa berdasarkan Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 yang dapat dilihat pada gambar 5.7. Adapun penomoran pada gambar dibawah dapat dilihat nama dari segmen tersebut pada Tabel 5.1.



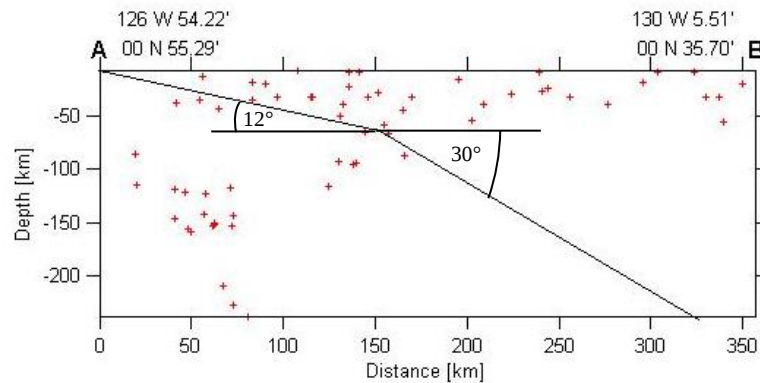
Gambar 5. 7 Identifikasi pemodelan sumber gempa *Shallow Crustal*.

Pada pemodelan sumber gempa tiga dimensi (3D), diperlukan juga sudut penunjaman (*dip*) zona subduksi di Papua dan sekitarnya. Pada penelitian ini, *dip* zona subduksi diperoleh berdasarkan dua area potongan melintang distribusi hiposenter di sekitar wilayah yang ditinjau yang dapat dilihat pada Gambar 5.8.

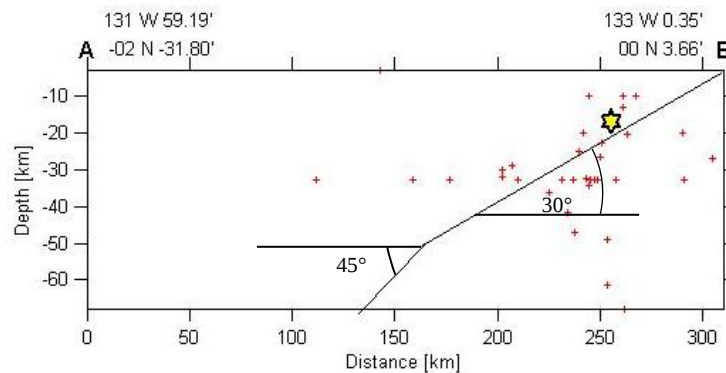


Gambar 5. 8 Letak dua potongan melintang untuk menentukan sudut penunjaman di zona subduksi Papua dan sekitarnya.

Gambar 5.9 dan 5.10 menunjukkan sudut penunjaman untuk zona *megathrust* dan *benioff* di zona subduksi. Sudut penunjaman untuk zona *megathrust* Philippine sebesar 12° dan sudut penunjaman untuk zona *benioff* sebesar 30° . Sedangkan sudut penunjaman untuk zona *megathrust* Sorong-Manokwari sebesar 30° dan sudut penunjaman untuk zona *benioff* sebesar 45°



Gambar 5. 9 Sudut Penunjaman Subduksi Philippine



Gambar 5. 10 Sudut Penunjaman Subduksi Sorong-Manokwari

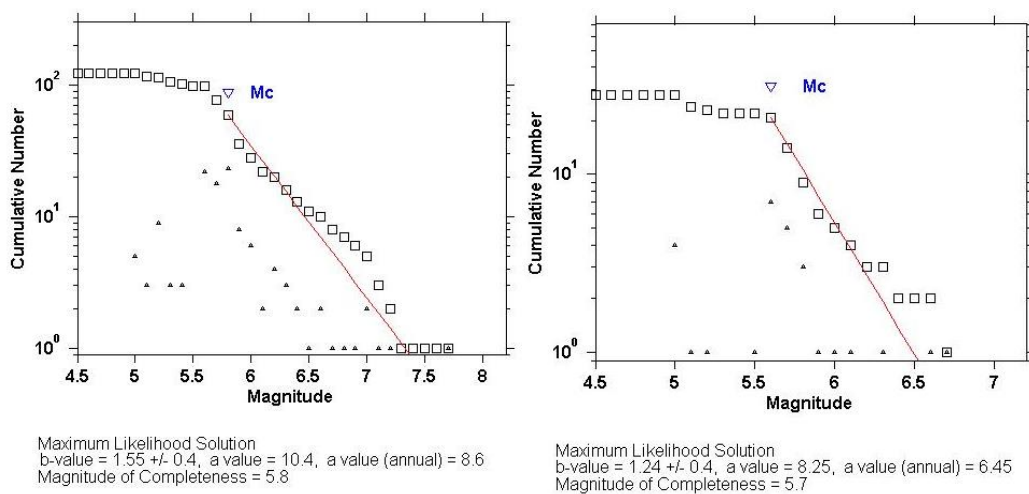
5.3 Karakteristik Sumber Gempa

Karakterisasi sumber gempa ditentukan berdasarkan kondisi geologi dan seismotektonik di daerah penelitian. Karakteristik sumber gempa tersebut menghasilkan parameter yang nantinya digunakan dalam analisis seismik hazard. Parameter tersebut antara lain berupa *b-value*, magnitudo maksimum dan *slip rate*.

5.3.1 Parameter Nilai-a dan Nilai-b

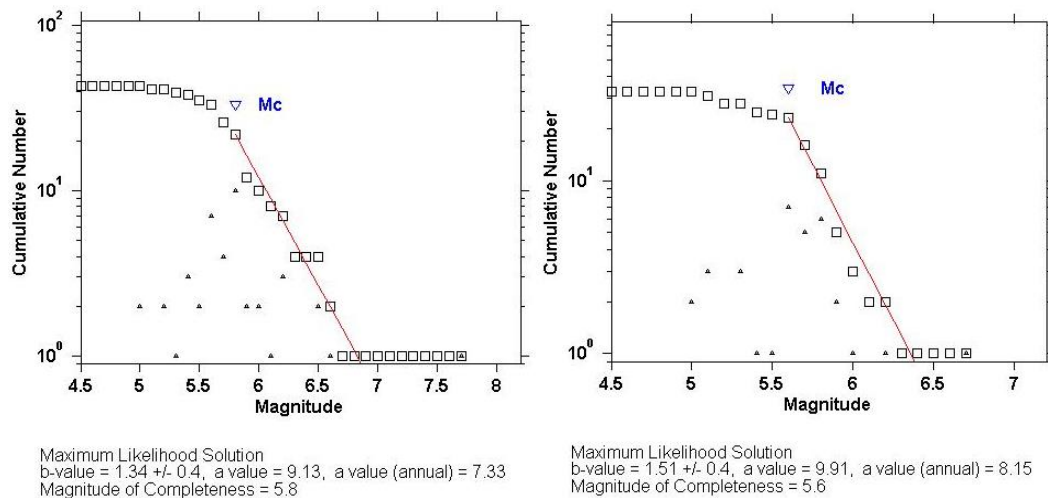
Penentuan parameter nilai-a dan nilai-b mengacu pada relasi Gutenberg-Richter. Estimasi nilai-a dan nilai-b dalam penelitian ini menggunakan pendekatan metode *maximum likelihood* dengan bantuan *software* ZMAP.

Hasil perhitungan nilai-a dan nilai-b untuk sumber gempa *Megathrust Philippine* didapatkan nilai-b = 1.55 dan nilai-a = 8.6 sedangkan untuk sumber gempa *Benioff Philippine* didapatkan nilai-b = 1.24 dan nilai-a = 6.45, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.11 sebagai berikut.



Gambar 5. 11 Penentuan Nilai-a dan Nilai-b untuk Zona Subduksi *Philippine*.

Hasil perhitungan nilai-a dan nilai b untuk sumber gempa *Megathrust Sorong-Manokwari* didapatkan nilai-b = 1.34 dan nilai-a = 7.33 sedangkan untuk sumber gempa *Benioff Sorong-Manokwari* didapatkan nilai-b = 1.51 dan nilai-a = 8.15, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.12 sebagai berikut.



a. *Megathrust* Sorong-Manokwari

b. *Benioff* Sorong-Manokwari

Gambar 5. 12 Penentuan Nilai-a dan Nilai-b untuk Zona Subduksi Sorong-Manokwari.

Setelah mendapatkan parameter a dan b maka nilai a dan b dapat dihitung menggunakan persamaan *Gutenberg-richter* dalam bentuk eksponensial. b-value yang dihasilkan dari persamaan di atas merupakan suatu parameter penting yang harus diinput sewaktu melakukan analisis seismik hazard pada software SRModel.

Tabel 5. 1 Parameter a dan b

No.	Sumber Gempa		b	β	a	α	Rate (v)
	Main	Segmen					
1	Megathrust	Philippine	1.55	3.570	8.6	19.81	7.079
2		Sorong-Manokwari	1.34	3.086	7.33	16.88	4.266
3	Benioff	Philippine	1.24	2.856	6.45	14.85	1.778
4		Sorong-Manokwari	1.51	3.478	8.15	18.77	3.981
5	North Sula	North Sula	1	2.303	5.2190	12.019	1.656
6	Sula Fault	3 Mangole	1	2.303	5.0041	11.524	1.009
7	Sorong Fault	1 Obi	1	2.303	4.828	11.119	0.673
8	Sorong Fault	2 Obi-Kofiau	1	2.303	4.792	11.036	0.619
9	Sorong Fault	3 North Kofiau	1	2.303	4.8529	11.176	0.713
10	Sorong Fault	4 South Halmahera	1	2.303	5.0581	11.649	1.143
11	Sorong Fault	5 West Salawati	1	2.303	4.7449	10.928	0.556
12	Sorong Fault	6 Sagewin	1	2.303	4.8529	11.176	0.713
13	Sorong Fault	7 Dampier	1	2.303	4.4370	10.218	0.274
14	Sorong Fault	8 Mega-Omnowi	1	2.303	4.5450	10.467	0.351
15	Sorong Fault	9 Klararea	1	2.303	3.9501	9.097	0.089
16	Sorong Fault	10 Anita	1	2.303	3.8421	8.848	0.070
17	Sorong Fault	11 Warjori	1	2.303	4.4370	10.218	0.274
18	Sorong Fault	12 Meuni	1	2.303	4.3650	10.053	0.232
19	Sorong Fault	13 Meuni Thrust	1	2.303	4.3650	10.053	0.232
20	Manokwari Thrust	West Segmen (North Waigeo)	1	2.303	4.8280	11.119	0.673
21	Manokwari Thrust	Central-East Segmen	1	2.303	4.9000	11.285	0.794

No.	Sumber Gempa		b	β	a	α	Rate (v)
	Main	Segmen					
22	Koor Fault	1 Dampier	1	2.303	3.6840	8.484	0.048
23	Koor Fault	2 Koor	1	2.303	4.3361	9.986	0.217
24	Teminabuan Thrust	1 South	1	2.303	2.6300	6.057	0.004
25	Teminabuan Thrust	2 Central	1	2.303	2.6300	6.057	0.004
26	Teminabuan Thrust	3 North	1	2.303	2.6300	6.057	0.004
27	Seram FTB	1 West	1	2.303	5.1121	11.773	1.294
28	Seram FTB	2	1	2.303	4.7920	11.036	0.619
29	Seram Strike Slip	East Gorom	1	2.303	4.5270	10.426	0.336
30	Seram Strike Slip	West Gorom	1	2.303	4.3830	10.094	0.242
31	Seram Strike Slip	North Hote	1	2.303	4.4730	10.301	0.297
32	Seram Strike Slip	East Bula	1	2.303	4.4370	10.218	0.274
33	Seram Strike Slip	North Kobi	1	2.303	3.6840	8.484	0.048
34	Seram Strike Slip	North Wahai	1	2.303	4.4910	10.343	0.310
35	Ransiki		1	2.303	4.4550	10.260	0.285
36	Wandamen	4 Kaimana	1	2.303	4.1179	9.484	0.131
37	Wandamen	3 Rumberpon-Kaimana	1	2.303	4.3830	10.094	0.242
38	Wandamen	2 Rumberpon	1	2.303	4.0099	9.235	0.102
39	Wandamen	Fau (East Kaimana)	1	2.303	3.6300	8.360	0.043
40	Wandamen	Triton South	1	2.303	3.7020	8.526	0.050
41	Wandamen	Triton North	1	2.303	3.6480	8.401	0.044
42	Wandamen	1 Wandamen	1	2.303	4.4010	10.135	0.252
43	Tarera-Aiduna	1 North	1	2.303	4.6851	10.790	0.484
44	Tarera-Aiduna	2 Central	1	2.303	4.7391	10.914	0.548
45	Tarera-Aiduna	3 South	1	2.303	4.6491	10.707	0.446
46	Aru Trough	1 West Aru	1	2.303	4.4730	10.301	0.297
47	Aru Trough	Central North	1	2.303	4.1381	9.530	0.137
48	Sorendidori		1	2.303	3.3110	7.625	0.020
49	Yapen Fault	Ransiki-Num	1	2.303	5.3541	12.330	2.260
50	Dampier	Dampier	1	2.303	3.4730	7.998	0.030
51	Tanimbar-Kai FTB	1	1	2.303	4.2619	9.815	0.183

5.3.2 Magnitude Maksimum dan Slip Rate

Magnitude maksimum ditentukan dari nilai terbesar kejadian gempa yang diperkirakan terjadi pada suatu wilayah. Apabila pengamatan cukup lama dibandingkan dengan periode ulang gempa maksimum yang mungkin terjadi, maka magnitude histori maksimum dapat digunakan sebagai magnitude maksimum.

Sedangkan *Slip rate* adalah kecepatan pergerakan suatu zona sumber gempa patahan relatif terhadap zona lainnya. *Slip rate* dapat ditentukan melalui hasil evaluasi terhadap data kejadian gempa dan kondisi tektonik di tempat tersebut yang dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5. 2 Nilai Magnitude Maksimum dan *Slip Rate* Subduksi

No.	Sumber Gempa		Mmax	Sliprate
	Main	Segmen		
1	Megathrust	Philippine	8.2	4.00
2		Sorong-Manokwari	8.1	4.00
3	Benioff	Philippine	8.2	4.00
4		Sorong-Manokwari	8.1	4.00

Tabel 5. 3 Nilai Magnitude Maksimum dan *Slip Rate* Sesar

No.	Sumber Gempa		Mmax	Sliprate
	Main	Segmen		
5	North Sula	North Sula	8.1	20
6	Sula Fault	3 Mangole	7.6	15
7	Sorong Fault	1 Obi	7.6	10
8	Sorong Fault	2 Obi-Kofiau	7.4	10
9	Sorong Fault	3 North Kofiau	7.2	12.5
10	Sorong Fault	4 South Halmahera	7.9	15
11	Sorong Fault	5 West Salawati	6.6	12.5
12	Sorong Fault	6 Sagewin	7.2	12.5
13	Sorong Fault	7 Dampier	7.1	5
14	Sorong Fault	8 Mega-Omnowi	7.7	5
15	Sorong Fault	9 Klararea	7.3	1.5
16	Sorong Fault	10 Anita	6.7	1.5
17	Sorong Fault	11 Warjori	7.1	5
18	Sorong Fault	12 Meuni	6.7	5
19	Sorong Fault	13 Meuni Thrust	6.7	5
20	Manokwari Thrust	West Segmen (North Waigeo)	7.6	10
21	Manokwari Thrust	Central-East Segmen	8	10
22	Koor Fault	1 Dampier	6.8	1
23	Koor Fault	2 Koor	7.4	3.5
24	Teminabuan Thrust	1 South	6.5	0.1
25	Teminabuan Thrust	2 Central	6.5	0.1
26	Teminabuan Thrust	3 North	6.5	0.1
27	Seram FTB	1 West	8.2	15
28	Seram FTB	2	7.4	10
29	Seram Strike Slip	East Gorom	7.6	5
30	Seram Strike Slip	West Gorom	6.8	5
31	Seram Strike Slip	North Hote	7.3	5
32	Seram Strike Slip	East Bula	7.1	5
33	Seram Strike Slip	North Kobi	6.8	1
34	Seram Strike Slip	North Wahai	7.4	5
35	Ransiki		7.2	5
36	Wandamen	4 Kaimana	7	2.5
37	Wandamen	3 Rumberpon-Kaimana	6.8	5
38	Wandamen	2 Rumberpon	6.4	2.5
39	Wandamen	Fau (East Kaimana)	6.5	1
40	Wandamen	Triton South	6.9	1
41	Wandamen	Triton North	6.6	1
42	Wandamen	1 Wandamen	6.9	5
43	Tarera-Aiduna	1 North	7.5	7.5
44	Tarera-Aiduna	2 Central	7.8	7.5
45	Tarera-Aiduna	3 South	7.3	7.5
46	Aru Trough	1 West Aru	7.3	5
47	Aru Trough	Central North	6.3	3.5
48	Sorendidori		6.4	0.5
49	Yapen Fault	Ransiki-Num	7.5	35

No.	Sumber Gempa		Mmax	Sliprate
	Main	Segmen		
50	Dampier	Dampier	7.3	0.5
51	Tanimbar-Kai FTB	1	7.8	2.5

Sumber : PuSGeN (2017)

5.3.3 Mekanisme Terjadinya Sumber Gempa

Hal penting dalam menganalisis hazard gempa adalah mekanisme terjadinya sumber gempa. Setiap zona gempa memiliki mekanisme terjadinya gempa yang berbeda. Pada penelitian ini mekanisme terjadinya sumber gempa mengacu mengacu pada penelitian hasil penelitian dari Asrurifak (2010), Firmansyah dan Irsyam (1999) serta Kertapati (1999) dalam PuSGeN (2017) yang tersaji pada Tabel 5.4.

Tabel 5. 4 *Source Mechanism* Sumber Gempa Subduksi dan *Shallow Crustal*

No.	Sumber Gempa		Source Mechanism
	Main	Segmen	
1	Megathrust	Philippine	Thrust
2		Sorong-Manokwari	Thrust
3	Benioff	Philippine	Thrust
4		Sorong-Manokwari	Thrust
5	North Sula	North Sula	Strike-slip Sinistral
6	Sula Fault	3 Mangole	Strike-slip Sinistral
7	Sorong Fault	1 Obi	Strike-slip Sinistral
8	Sorong Fault	2 Obi-Kofiau	Strike-slip Sinistral
9	Sorong Fault	3 North Kofiau	Strike-slip Sinistral
10	Sorong Fault	4 South Halmahera	Strike-slip Sinistral
11	Sorong Fault	5 West Salawati	Strike-slip Sinistral
12	Sorong Fault	6 Sagewin	Strike-slip Sinistral
13	Sorong Fault	7 Dampier	Strike-slip Sinistral
14	Sorong Fault	8 Mega-Omnowi	Strike-slip Sinistral
15	Sorong Fault	9 Klararea	Strike-slip Sinistral
16	Sorong Fault	10 Anita	Thrust
17	Sorong Fault	11 Warjori	Oblique (Thrust-sinistral)
18	Sorong Fault	12 Meuni	Strike-slip Sinistral
19	Sorong Fault	13 Meuni Thrust	Oblique (Thrust-sinistral)
20	Manokwari Thrust	West Segmen (North Waigeo)	Oblique (Thrust-sinistral)
21	Manokwari Thrust	Central-East Segmen	Thrust
22	Koor Fault	1 Dampier	Strike-slip Sinistral
23	Koor Fault	2 Koor	Strike-slip Sinistral
24	Teminabuan Thrust	1 South	Thrust
25	Teminabuan Thrust	2 Central	Thrust
26	Teminabuan Thrust	3 North	Thrust
27	Seram FTB	1 West	Thrust
28	Seram FTB	2	Thrust-SS
29	Seram Strike Slip	East Gorom	Strike-slip Sinistral
30	Seram Strike Slip	West Gorom	Strike-slip Sinistral
31	Seram Strike Slip	North Hote	Strike-slip Sinistral
32	Seram Strike Slip	East Bula	Strike-slip Sinistral
33	Seram Strike Slip	North Kobi	Strike-slip Sinistral
34	Seram Strike Slip	North Wahai	Strike-slip Sinistral

No.	Sumber Gempa		Source Mechanism
	Main	Segmen	
35	Ransiki		Strike-slip Dextral
36	Wandamen	4 Kaimana	Normal
37	Wandamen	3 Rumberpon-Kaimana	Normal
38	Wandamen	2 Rumberpon	Normal
39	Wandamen	Fau (East Kaimana)	Normal
40	Wandamen	Triton South	Normal
41	Wandamen	Triton North	Normal
42	Wandamen	1 Wandamen	Normal
43	Tarera-Aiduna	1 North	Strike-slip Sinistral
44	Tarera-Aiduna	2 Central	Strike-slip Sinistral
45	Tarera-Aiduna	3 South	Strike-slip Sinistral
46	Aru Trough	1 West Aru	Normal
47	Aru Trough	Central North	Normal
48	Sorendidori		Strike-slip Sinistral
49	Yapen Fault	Ransiki-Num	Strike-slip Sinistral
50	Dampier	Dampier	Thrust
51	Tanimbar-Kai FTB	1	Thrust

Sumber : PuSGeN (2017)

5.3.4 Parameter Pemodelan Tiga Dimensi (3D)

Parameter permodelan tiga dimensi ini merupakan parameter yang dibutuhkan untuk memodelkan sumber gempa tiga dimensi (3D) pada saat analisis hazard dilakukan. Parameter tersebut yaitu sudut penunjaman (dip), nilai top dan bottom dari sumber gempa. Pada penelitian ini mengacu pada perhitungan dan hasil penelitian dari Asrurifak (2010), Firmansyah dan Irsyam (1999) serta Kertapati (1999) dalam PuSGeN (2017) yang dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5. 5 Parameter Permodelan 3D

No.	Sumber Gempa		Dip	Top	Bottom
	Main	Segmen			
1	North Sula	North Sula	45S	3	18
2	Sula Fault	3 Mangole	90	3	18
3	Sorong Fault	1 Obi	90	3	18
4	Sorong Fault	2 Obi-Kofiau	90	3	18
5	Sorong Fault	3 North Kofiau	90	3	18
6	Sorong Fault	4 South Halmahera	60	3	18
7	Sorong Fault	5 West Salawati	90	3	18
8	Sorong Fault	6 Sagewin	90	3	18
9	Sorong Fault	7 Dampier	90	3	18
10	Sorong Fault	8 Mega-Omnowi	90	3	18
11	Sorong Fault	9 Klararea	90	3	18
12	Sorong Fault	10 Anita	45NE	3	18
13	Sorong Fault	11 Warjori	45SW	3	18
14	Sorong Fault	12 Meuni	90	3	18
15	Sorong Fault	13 Meuni Thrust	45SW	3	18
16	Manokwari Thrust	West Segmen (North Waigeo)	70SW	3	18
17	Manokwari Thrust	Central-East Segmen	60SW	3	18
18	Koor Fault	1 Dampier	90	3	18
19	Koor Fault	2 Koor	90	3	18
20	Teminabuan Thrust	1 South	45NE	3	18

No.	Sumber Gempa		Dip	Top	Bottom
	Main	Segmen			
21	Teminabuan Thrust	2 Central	45NE	3	18
22	Teminabuan Thrust	3 North	45NE	3	18
23	Seram FTB	1 West	45SW	3	18
24	Seram FTB	2	60SW	3	18
25	Seram Strike Slip	East Gorom	90	3	18
26	Seram Strike Slip	West Gorom	90	3	18
27	Seram Strike Slip	North Hote	90	3	18
28	Seram Strike Slip	East Bula	90	3	18
29	Seram Strike Slip	North Kobi	90	3	18
30	Seram Strike Slip	North Wahai	90	3	18
31	Ransiki		90	3	18
32	Wandamen	4 Kaimana	75NE	3	18
33	Wandamen	3 Rumberpon-Kaimana	75NE	3	18
34	Wandamen	2 Rumberpon	75W	3	18
35	Wandamen	Fau (East Kaimana)	80SE	3	18
36	Wandamen	Triton South	80NW	3	18
37	Wandamen	Triton North	80SE	3	18
38	Wandamen	1 Wandamen	60W	3	18
39	Tarera-Aiduna	1 North	90	3	18
40	Tarera-Aiduna	2 Central	90	3	18
41	Tarera-Aiduna	3 South	90	3	18
42	Aru Trough	1 West Aru	75E	3	18
43	Aru Trough	Central North	75E	3	18
44	Sorendidori		90	3	18
45	Yapen Fault	Ransiki-Num	90	3	18
46	Dampier	Dampier	35	3	18
47	Tanimbar-Kai FTB	1	45N	3	18

Sumber : PuSGeN (2017)

5.4 Ground Motion Prediction Equation (GMPE)

Hingga saat ini Indonesia belum memiliki data *ground motion* yang cukup untuk pembuatan fungsi atenuasi. Oleh karena itu, penggunaan fungsi atenuasi yang diturunkan dari negara lain tidak dapat dihindari. Pemilihan fungsi atenuasi didasarkan pada kesamaan kondisi geologi dan tektonik dari wilayah dimana rumus atenuasi dibuat. Fungsi atenuasi digunakan untuk mengetahui percepatan puncak gempa yang menurun akibat pengaruh jarak. Fungsi ini yang menghubungkan antara besarnya magnitude gempa dan jarak terhadap lokasi pusat gempa dengan parameter pergerakan tanah di lokasi yang ditinjau. Pada penelitian ini penulis menggunakan fungsi atenuasi yang tersedia pada software SRModel yang akan digunakan untuk menganalisis *seismic hazard*. Berikut ini fungsi atenuasi yang digunakan untuk masing-masing model sumber gempa yaitu sebagai berikut.

1. *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) untuk sumber gempa *shallow crustall* diantaranya sebagai berikut.
 - a. Fungsi Atenuasi Boor-Atkinson (2006-NGA)
 - b. Fungsi Atenuasi Sadigh (1997)
 - c. Fungsi Atenuasi Chiou-Young (2006-NGA)
2. *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) untuk sumber gempa subduksi (*Megathrust* dan *Benioff*) diantaranya sebagai berikut.
 - a. Youngs et al.,(1997)
 - b. Atkinson Boore, (2003)

5.5 *Logic Tree*

Pada penelitian ini, *Logic tree* bertujuan untuk memperhitungkan ketidakpastian dalam menentukan parameter analisis bahaya gempa, seperti pemilihan model *recurrence*, fungsi atenuasi, *recurrence rate* dan *magnitude* maksimum yang digunakan pada saat melakukan analisis *seismic hazard*. Penggunaan *logic tree* akan memberikan kerangka yang lebih tepat dalam memperbaiki hasil analisis *seismic hazard*. Dengan menggunakan cara ini, maka ketidakpastian (*uncertainty*) dapat dikurangi melalui berbagai macam skenario kemungkinan yang dibuat pada *logic tree*. Hal ini dapat dilakukan dengan cara memberikan pembobotan pada masing-masing model yang diperhitungkan dalam analisis *hazard*. Semua alternatif metode untuk parameter yang sama mempunyai faktor pembobot harus sama dengan satu.

Dapat dilihat pada gambar 4.1 dan Gambar 4.2 dimana penggunaan *logic tree* dalam penelitian ini adalah model *recurrence exponential* (*Gutenberg-Richter*) diberikan bobot 0.34 dan model karakteristik (*characteristic*) diberikan bobot 0.66. Pembobotan pada *Logic Tree* yang digunakan dalam penelitian ini dengan sumber gempa subduksi sebesar 0.33 untuk GMPE Sadigh et al,1997, 0.33 untuk GMPE Boore-Atkinson 2006 NGA dan 0.34 untuk GMPE Chiou-Youngs 2006 NGA. Sedangkan sumber gempa *shallow crustal* sebesar 0.5 untuk dua GMPE yaitu Young et al, 1997 dan Atkinson-Boore, 2003.

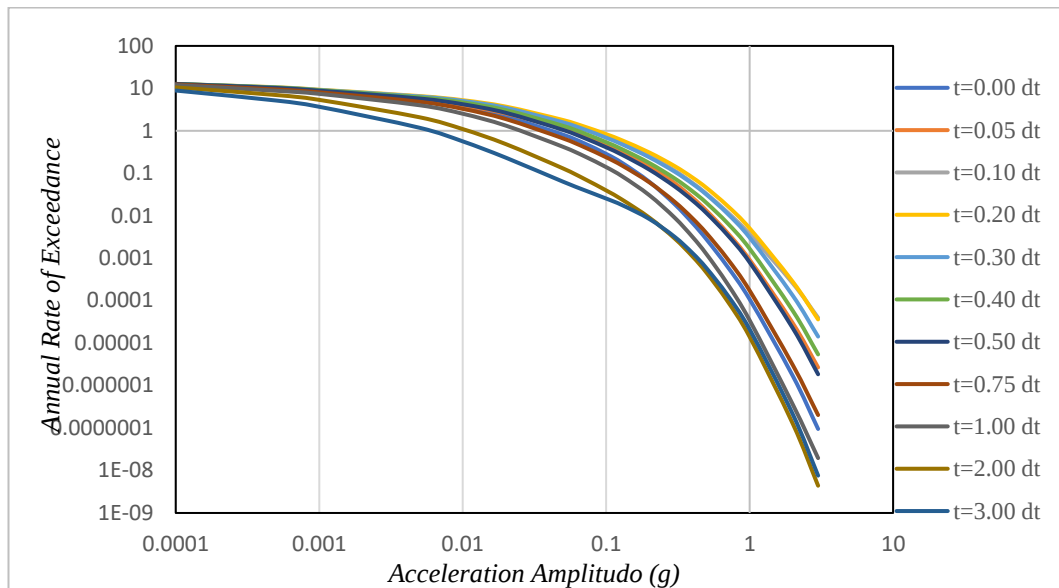
5.6 Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)

Berdasarkan hasil *running* SRModel didapatkan PSHA pada lokasi penelitian dengan titik koordinat *longitude* 131.288269 dan *latitude* -0.881887, didapatkan nilai *seismic hazard* yang dapat dilihat pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5. 6 Hasil *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA)

		<i>Spectral Periode (second)</i>										
		0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1	2	3
<i>Acceleration Amplitudo (g)</i>	0.0001	12.309	12.311	12.432	12.585	12.676	12.761	12.691	12.374	11.977	10.537	8.8935
	0.0005	9.5692	9.8695	10.276	10.647	10.543	10.439	10.23	9.4477	8.7711	6.9766	5.1739
	0.001	8.1907	8.4447	8.8938	9.2825	9.1627	9.0389	8.8198	8.0709	7.4268	5.3605	3.6846
	0.005	5.1346	5.4253	6.107	6.59	6.4422	6.1406	5.7731	4.8296	4.0045	2.0852	1.1823
	0.01	3.6133	3.9835	4.7436	5.2764	5.0677	4.6629	4.2263	3.2907	2.53	1.0994	0.56482
	0.02	2.1622	2.5635	3.2407	3.7169	3.4763	3.0674	2.6545	1.8898	1.324	0.48641	0.23269
	0.05	0.81182	1.1439	1.5512	1.7966	1.585	1.3101	1.0511	0.66484	0.42073	0.13031	0.063457
	0.07	0.51104	0.78341	1.103	1.2689	1.0857	0.87504	0.68294	0.41554	0.25497	0.074704	0.040403
	0.1	0.28634	0.48951	0.72712	0.83434	0.68925	0.54032	0.40947	0.23798	0.13968	0.039448	0.025422
	0.13	0.17313	0.3274	0.51111	0.59083	0.47548	0.36445	0.26931	0.14989	0.08386	0.023651	0.017631
	0.2	0.062917	0.14858	0.25755	0.30874	0.23803	0.17448	0.12186	0.061182	0.030435	0.009024	0.0083744
	0.3	0.018743	0.058681	0.11617	0.14778	0.10919	0.075863	0.049165	0.021339	0.009029	0.002923	0.0031917
	0.4	0.0067379	0.026567	0.059265	0.079187	0.056561	0.037547	0.022817	0.008656	0.003166	0.0011	0.0013185
	0.5	0.0027835	0.0132	0.032859	0.045423	0.031481	0.020085	0.011557	0.003885	0.001248	0.000457	0.00058396
	0.7	0.0006347	0.003975	0.012107	0.017151	0.011238	0.006702	0.003534	0.000968	0.00025	9.78E-05	0.00013604
	1	0.0001079	0.000918	0.003702	0.005061	0.003054	0.001674	0.000801	0.000173	3.45E-05	1.41E-05	2.1131E-05
	2	1.683E-06	2.94E-05	0.000256	0.000278	0.000131	5.76E-05	2.24E-05	3.03E-06	3.58E-07	1.26E-07	2.1062E-07
	3	9.514E-08	2.67E-06	3.95E-05	3.62E-05	1.43E-05	5.42E-06	1.85E-06	2.03E-07	1.96E-08	4.39E-09	7.5771E-09
		<i>Annual Rate of Exceedance</i>										

Kurva bahaya gempa (*seismic hazard curve*) adalah hubungan antara rata-rata kemungkinan terlampaui setiap tahunnya (*annual rate of exceedance*) dan besar percepatannya (*acceleration amplitude*). Besarnya percepatan dalam satuan g (gravitasi). Untuk menggambarkan bahaya gempa yang terjadi, kurva ini menggunakan skala logaritma. Dalam penelitian ini, kurva bahaya gempa dilakukan dengan beberapa perioda spektra (*spectral period*). Kurva bahaya gempa (*seismic hazard curve*) hasil dari perhitungan *software* SR Model dapat dilihat pada Gambar 5.13. sebagai berikut.



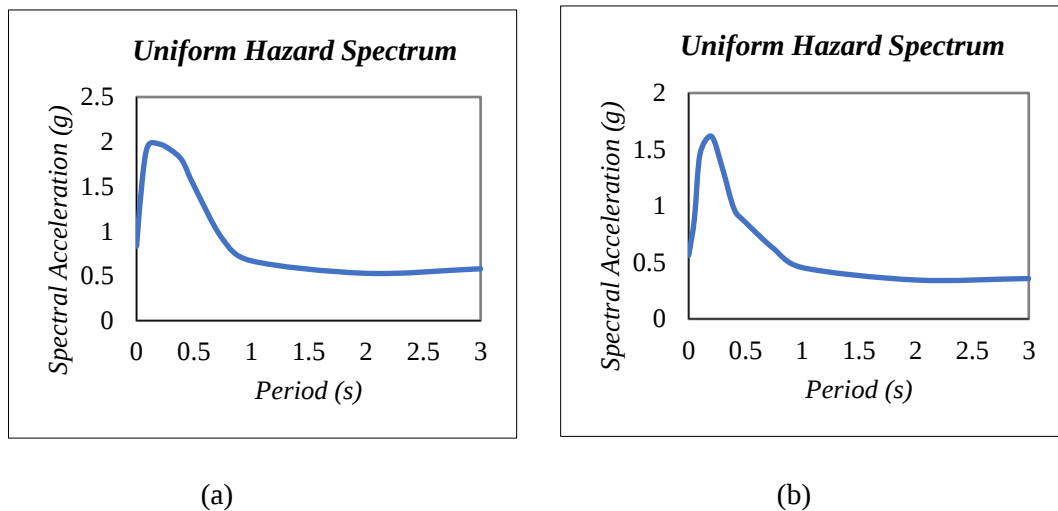
Gambar 5. 13 Seismic Hazard Curve Kota Sorong

Pada penelitian ini, dilakukan analisis *hazard* gempa menggunakan metode probabilistik dengan bantuan *software* SRModel. Analisis *seismic hazard* pada penelitian ini dibatasi pada probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun umur bangunan atau setara dengan kala ulang (*return period*) 2.475 tahun dan 10% dalam 50 tahun umur bangunan atau setara dengan kala ulang (*return period*) 475 tahun yang dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5. 7 Hasil Respon Spectral Hazard Seragam

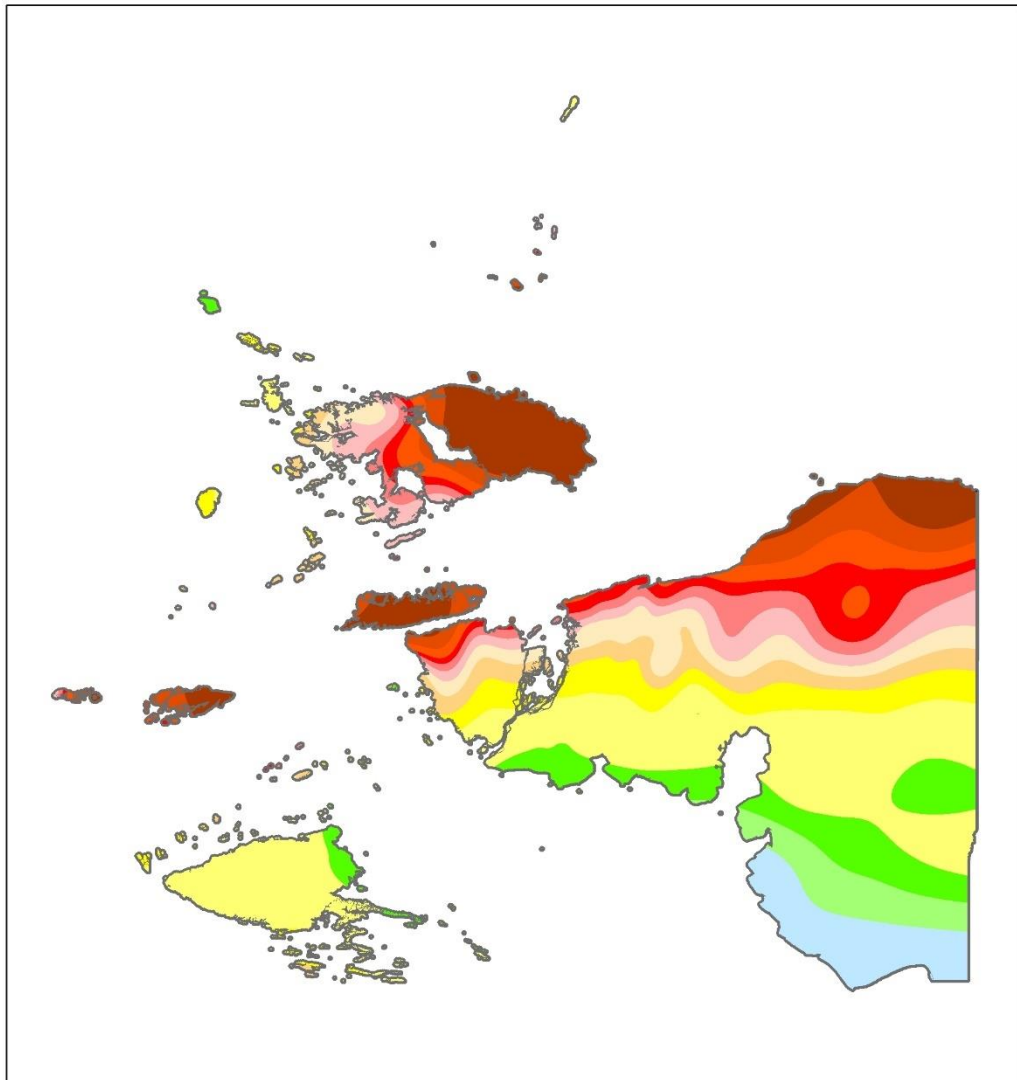
Period (s)	Spectral Acceleration (g)	
	2%	10%
0	0.8313	0.5629
0.05	1.5785	0.8833
0.1	1.9569	1.4628
0.2	1.9736	1.6175
0.3	1.9065	1.3238
0.4	1.7856	0.9741
0.5	1.5095	0.8566
0.75	0.9127	0.6219
1	0.6691	0.4552
2	0.5295	0.3447
3	0.5803	0.3579

Hasil dari respon spektra *hazard* seragam (*uniform hazard spectrum*) menunjukkan hubungan antara waktu (*periode*) dan *spectra acceleration* (g) pada daerah yang ditinjau. Periode 0 detik dikenal dengan istilah PGA (*Peak Ground Acceleration*). Nilai PGA pada batuan dasar di lokasi penelitian dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun diperoleh sebesar 0.8313 g dan probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun diperoleh sebesar 0.5629 g. Gambar 5.14 menunjukkan grafik respon *spectral hazard* seragam pada penelitian ini.



Gambar 5. 14 Respon *Spectral Hazard* Seragam Probabilitas Terlampaui (a) 2%
(b) 10% dalam 50 Tahun untuk Kota Sorong

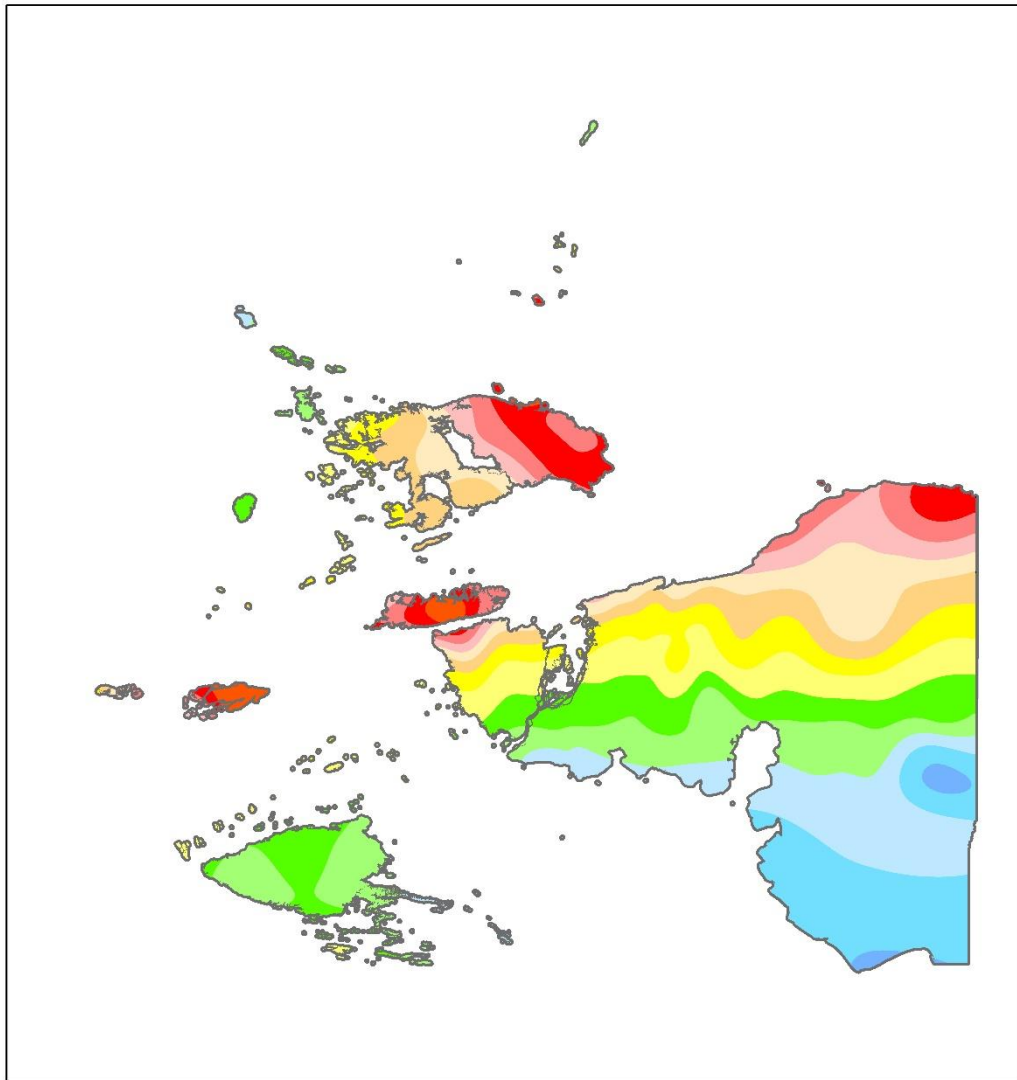
Adapun peta percepatan tanah di batuan dasar hasil analisis yang dapat dilihat pada Gambar 5.15 sampai Gambar 5.20. Sedangkan peta percepatan tanah di permukaan hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 5.21 sampai Gambar 5.26 di bawah ini.



Percepatan Tanah Puncak (PGA) di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun



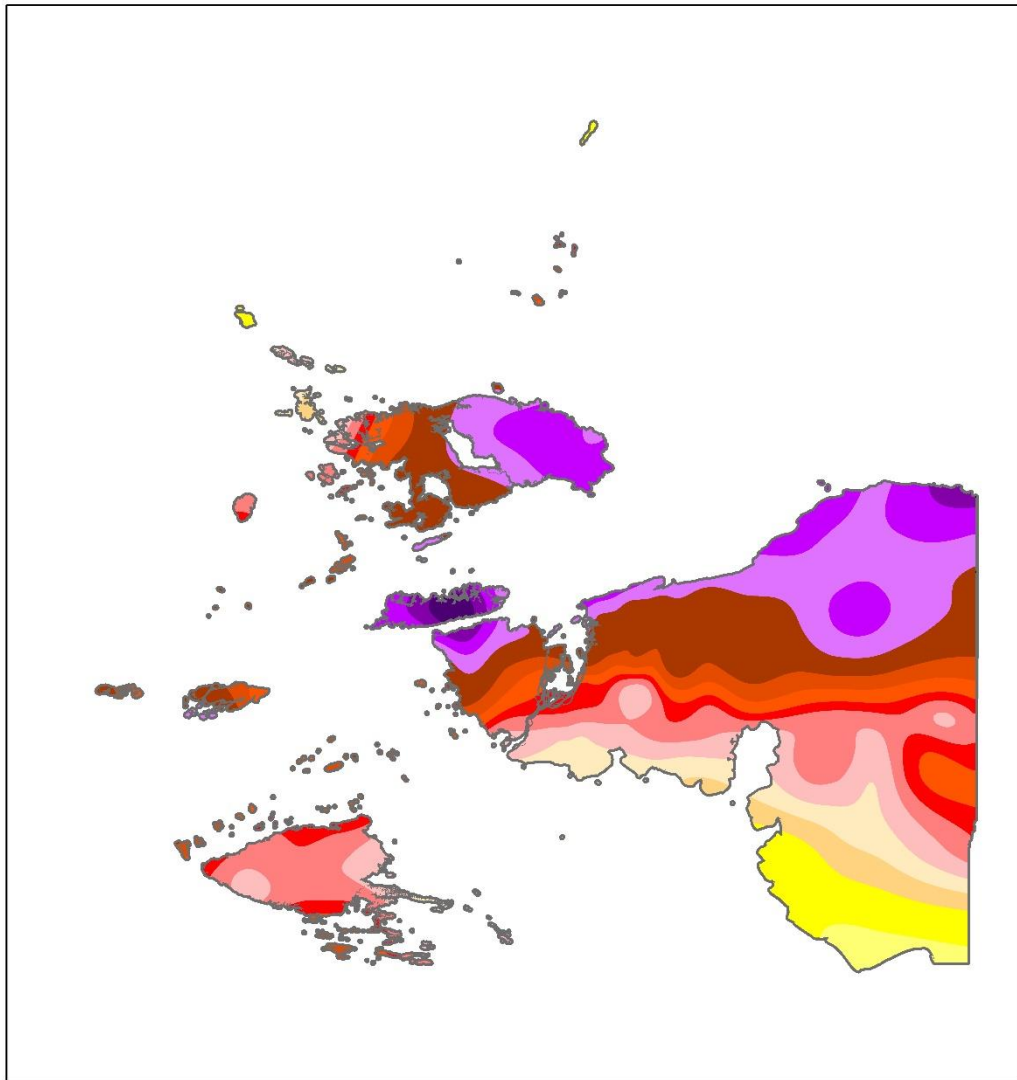
Gambar 5. 15 Peta Percepatan Tanah Puncak (PGA) di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun



Percepatan Tanah Puncak (PGA) di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 10% Dalam 50 Tahun



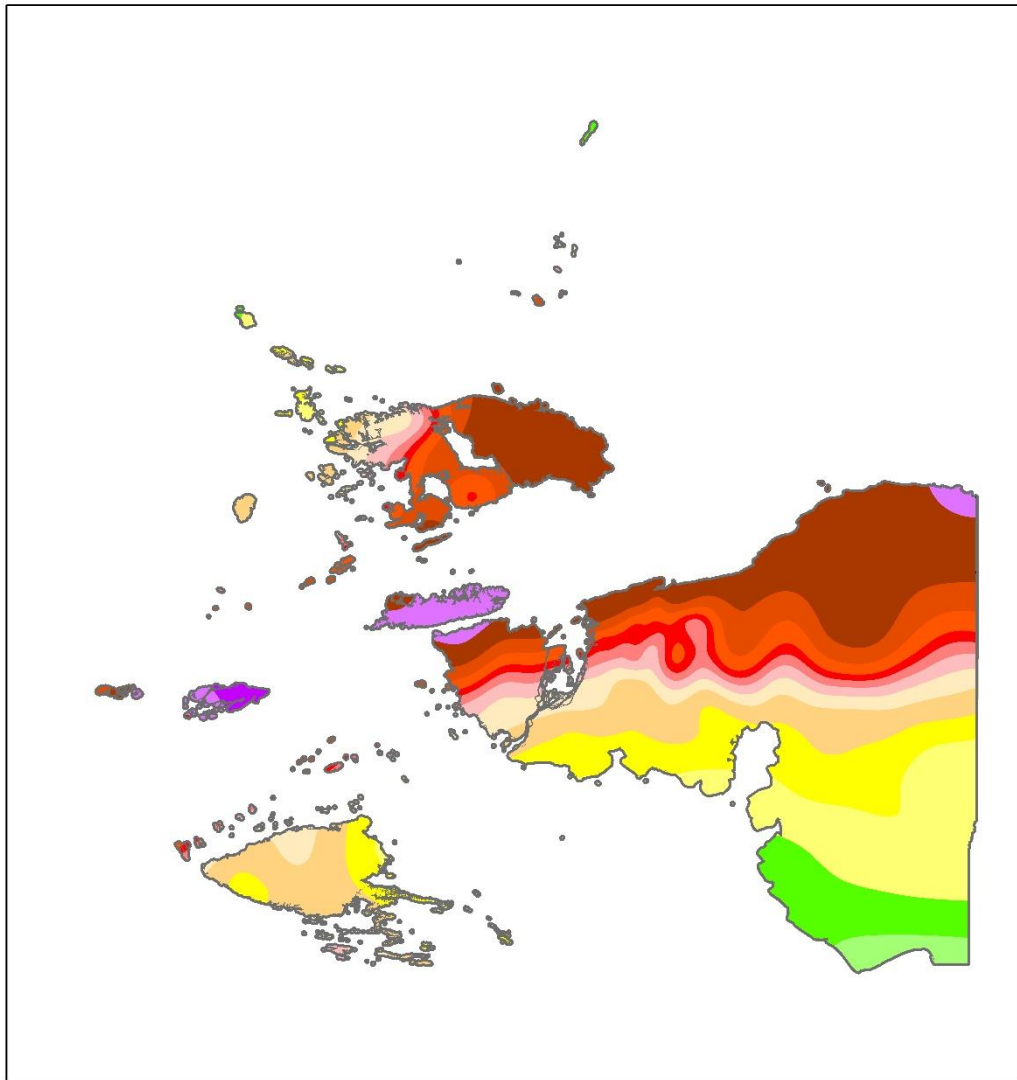
Gambar 5. 16 Peta Percepatan Tanah Puncak (PGA) di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 10% Dalam 50 Tahun



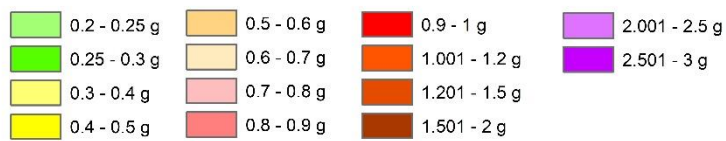
Percepatan Respon Spektra 0,2 detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampau 2% Dalam 50 Tahun



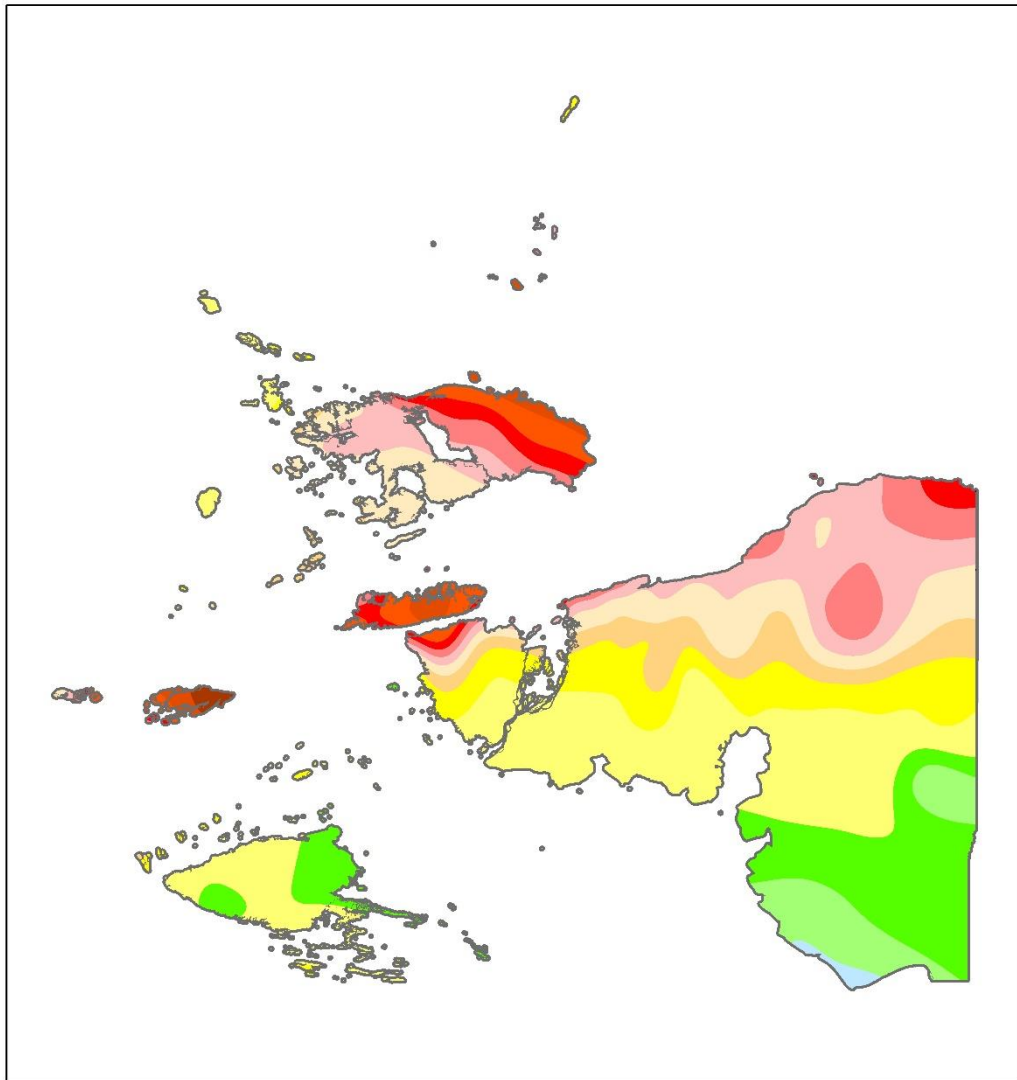
Gambar 5. 17 Peta Percepatan Respon Spektra 0,2 detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampau 2% Dalam 50 Tahun



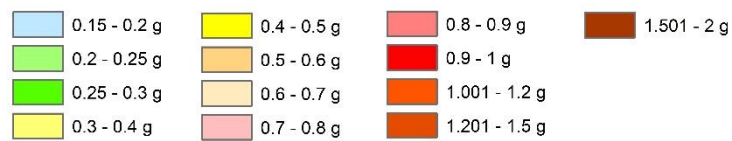
Percepatan Respon Spektra 0,2 detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampau 10% Dalam 50 Tahun



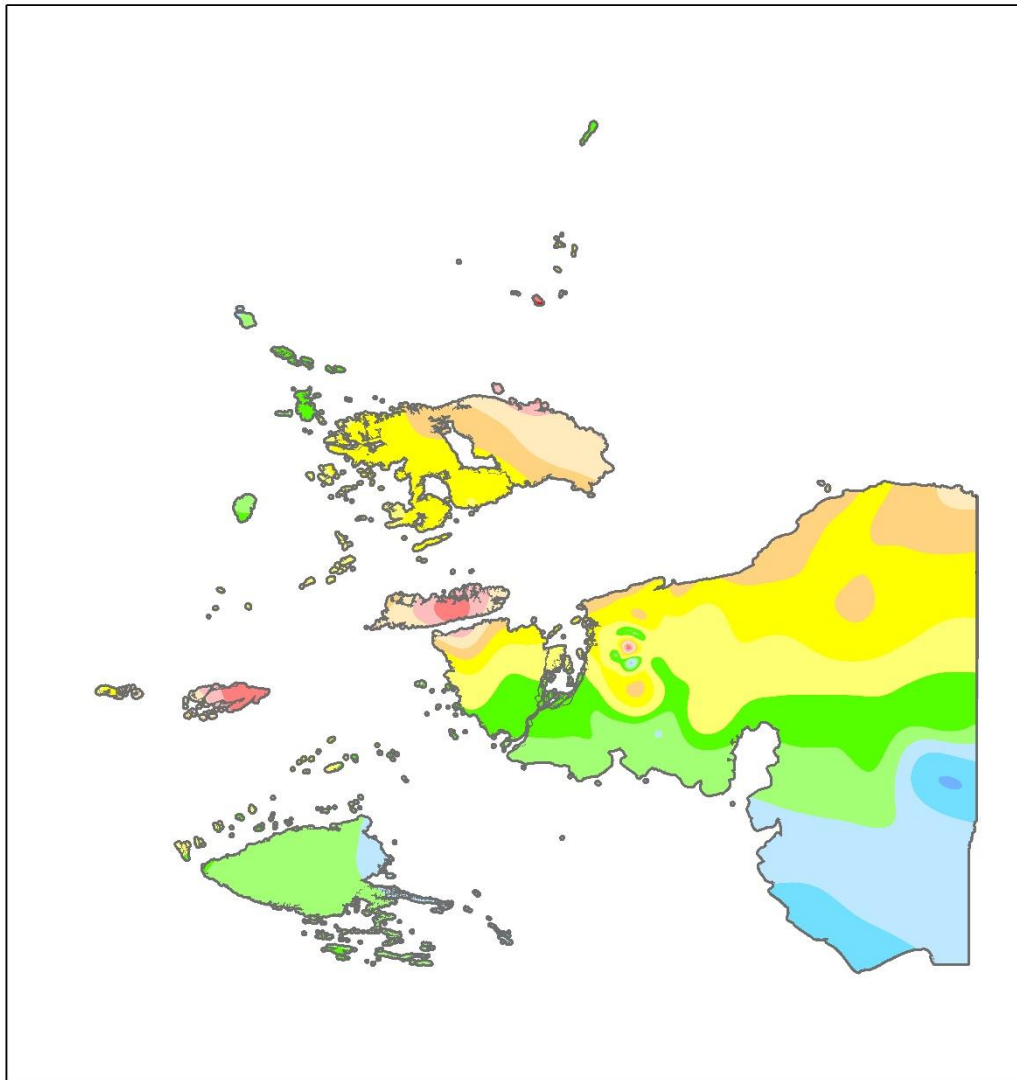
Gambar 5. 18 Peta Percepatan Respon Spektra 0,2 detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampau 10% Dalam 50 Tahun



Percepatan Respon Spektra 1 detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun



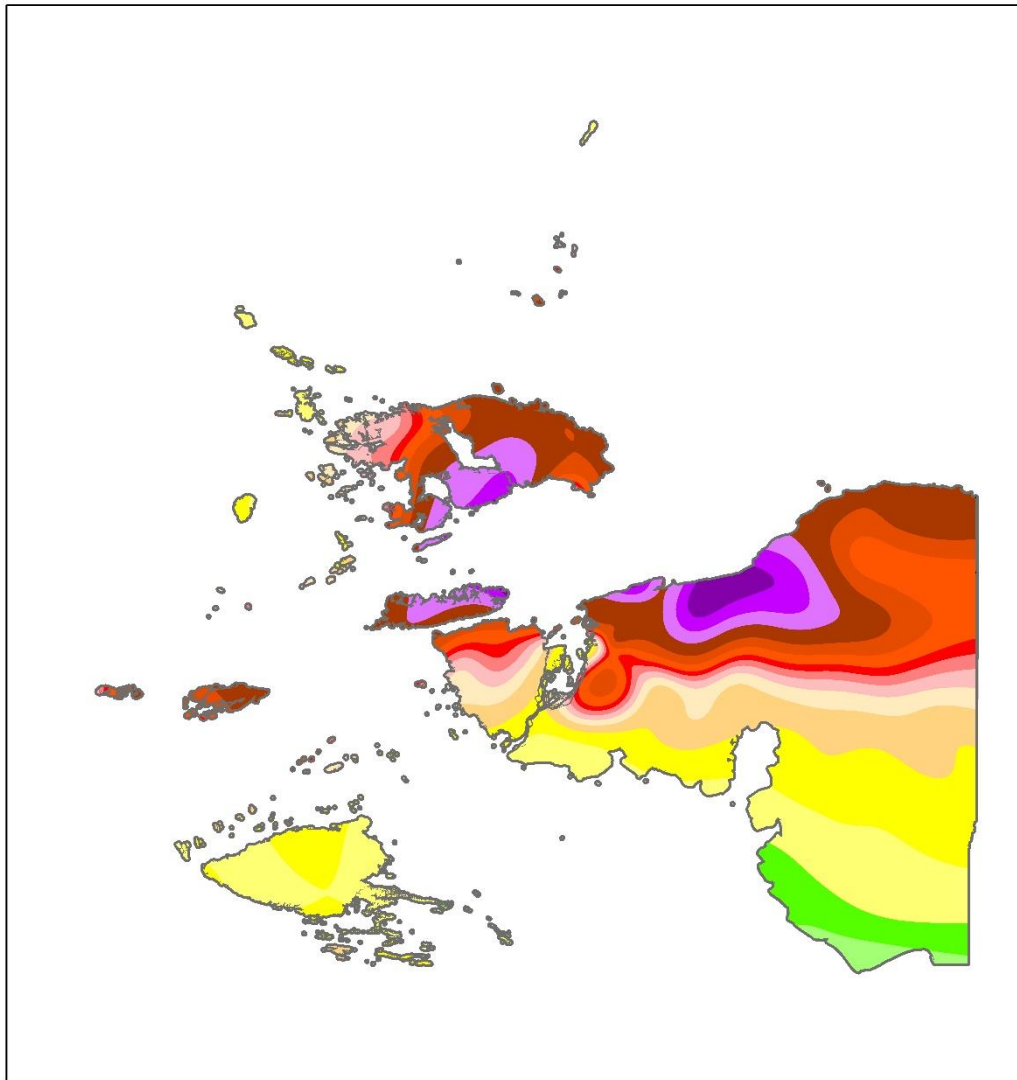
Gambar 5. 19 Peta Percepatan Respon Spektra 1 detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun



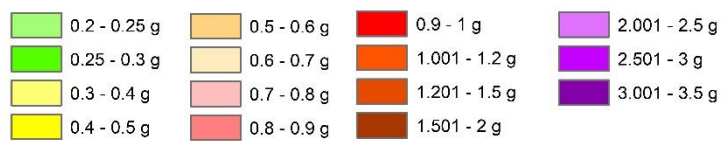
Percepatan Respon Spektra 1 detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 10% Dalam 50 Tahun



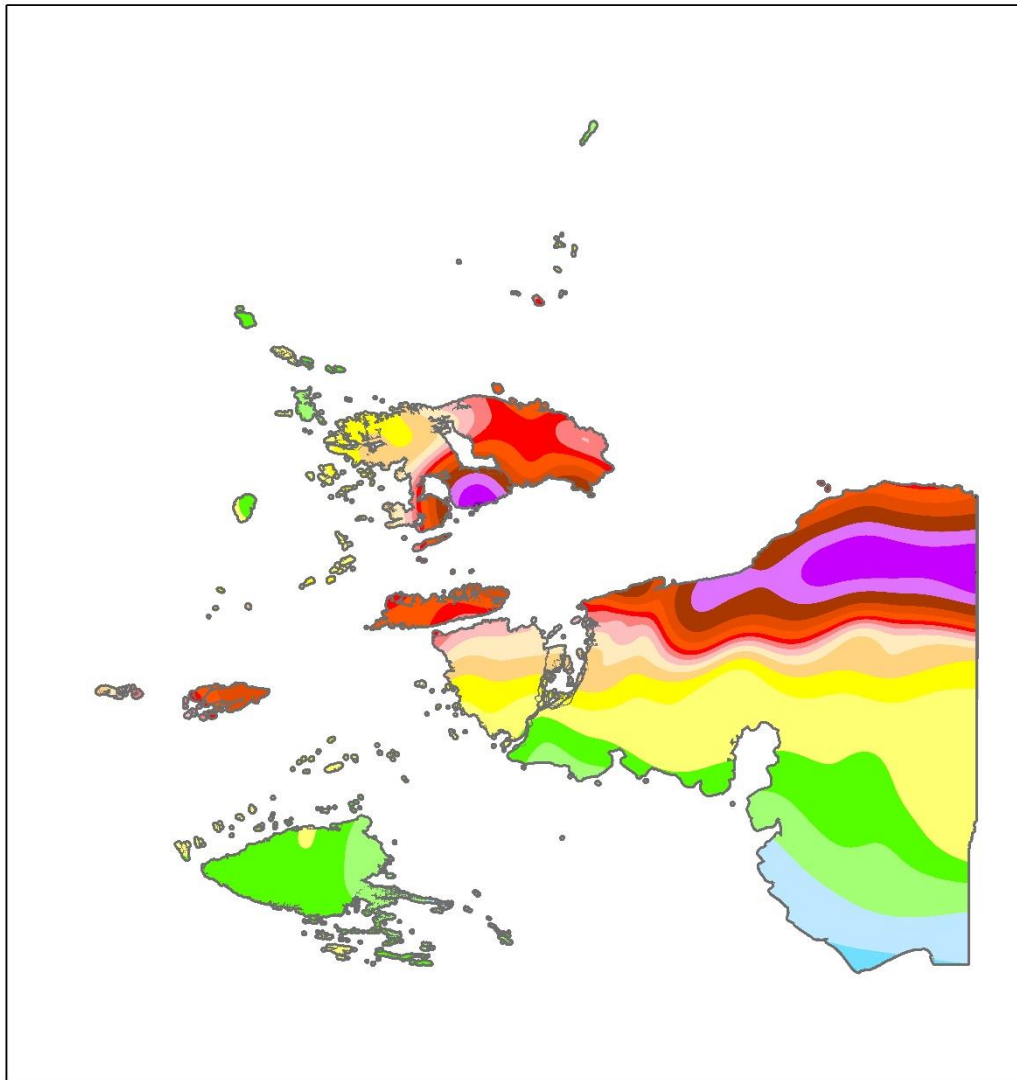
Gambar 5. 20 Peta Percepatan Respon Spektra 1 detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 10% Dalam 50 Tahun



Percepatan Tanah Puncak (PGA) di Permukaan Tanah untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun



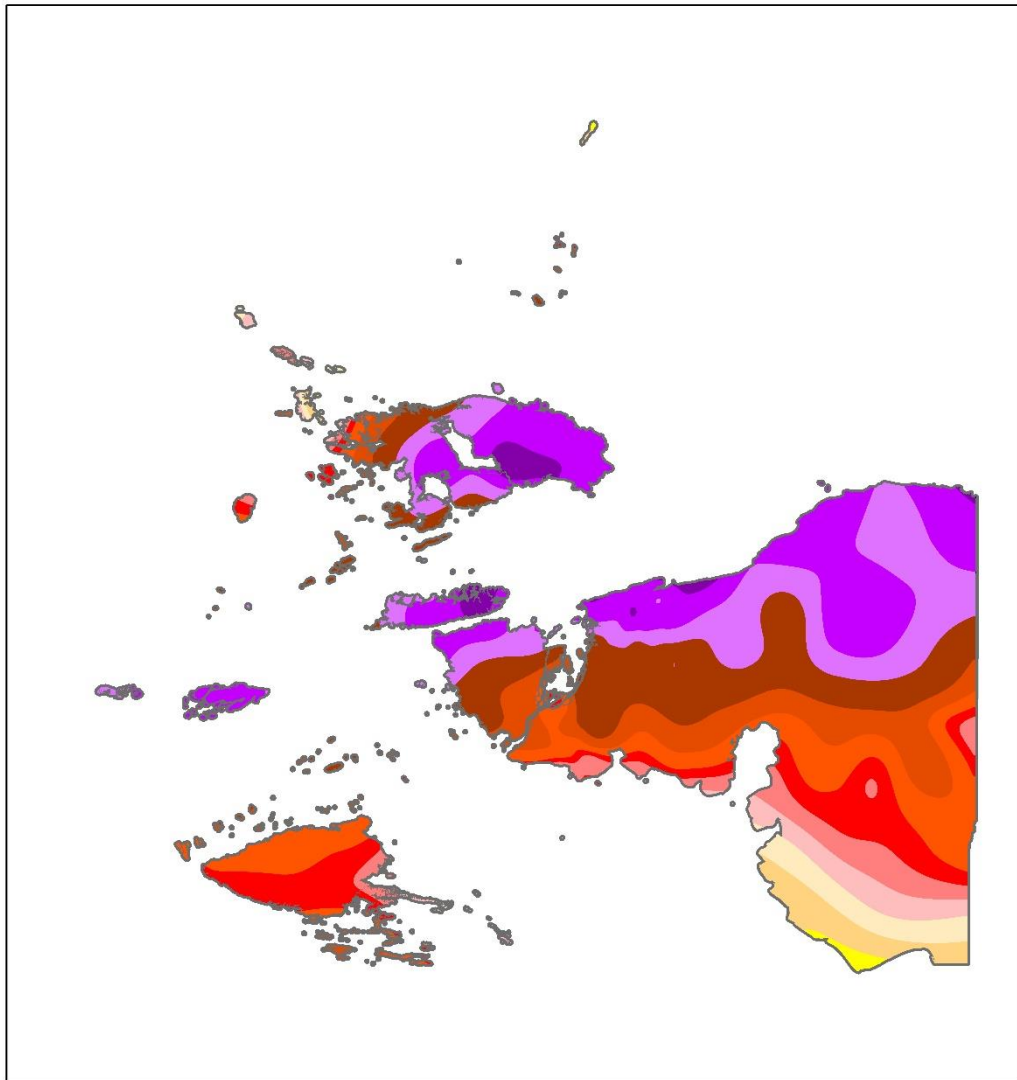
Gambar 5. 21 Peta Percepatan Tanah Puncak (PGA) di Permukaan Tanah untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun



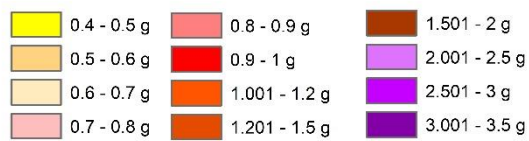
Percepatan Tanah Puncak (PGA) di Permukaan Tanah untuk Probabilitas Terlampaui 10% Dalam 50 Tahun



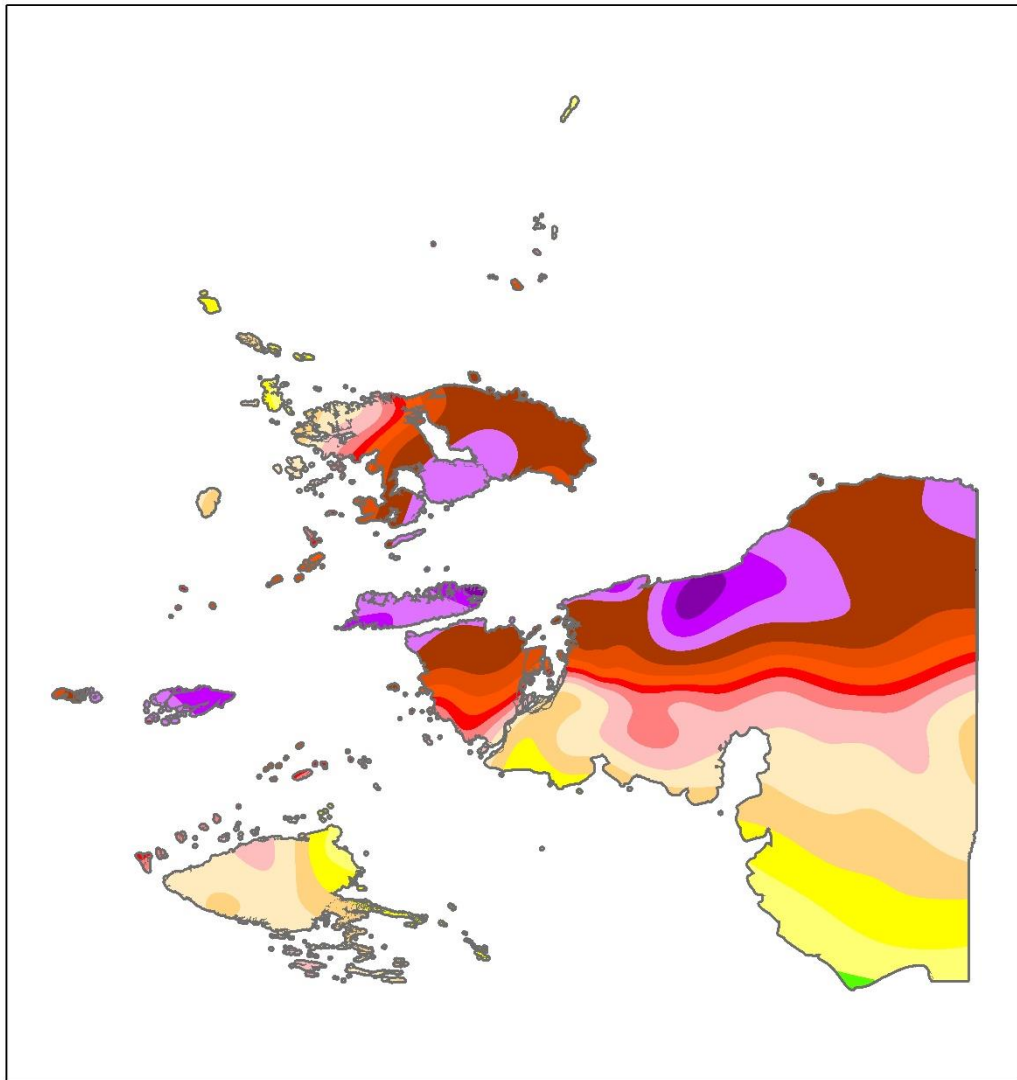
Gambar 5. 22 Peta Percepatan Tanah Puncak (PGA) di Permukaan Tanah untuk Probabilitas Terlampaui 10% Dalam 50 Tahun



Percepatan Respon Spektra 0,2 detik di Permukaan Tanah untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun



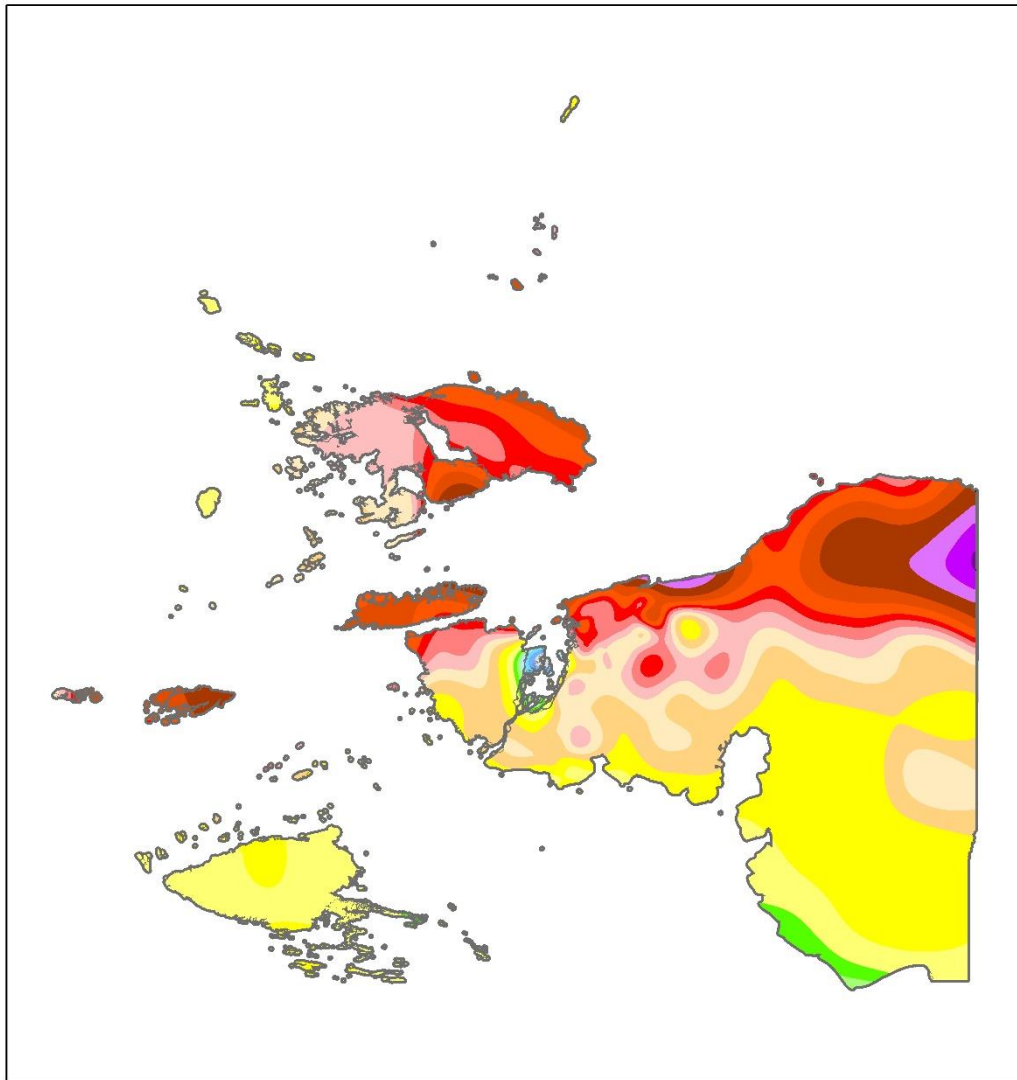
Gambar 5. 23 Peta Percepatan Respon Spektra 0,2 detik di Permukaan Tanah untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun



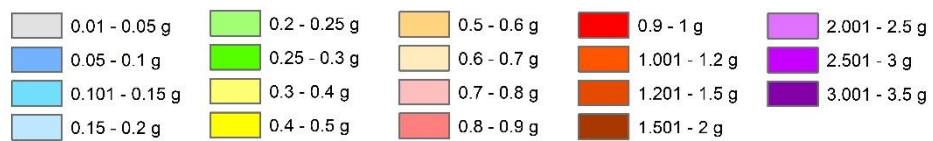
Percepatan Respon Spektra 0,2 detik di Permukaan Tanah untuk Probabilitas Terlampau 10% Dalam 50 Tahun



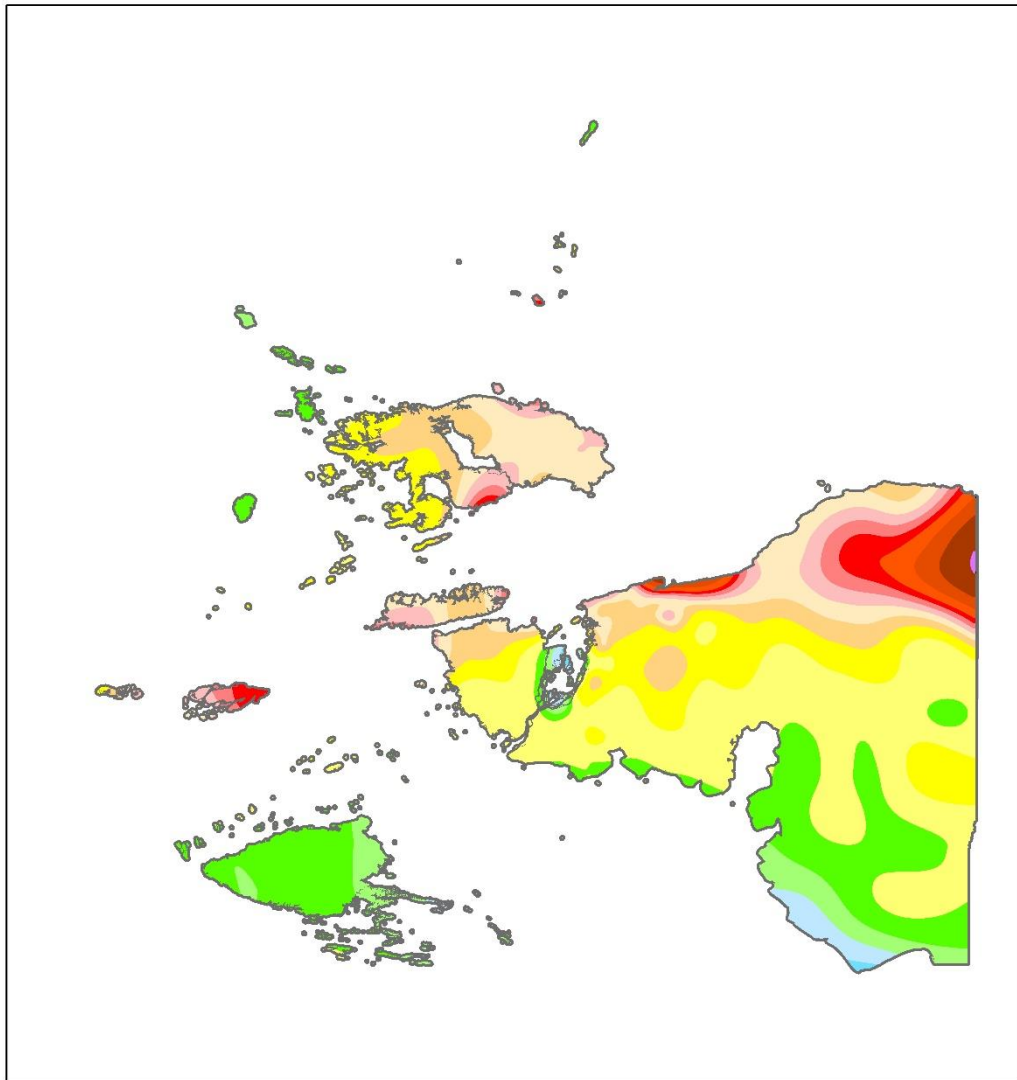
Gambar 5. 24 Peta Percepatan Respon Spektra 0,2 detik di Permukaan Tanah untuk Probabilitas Terlampau 10% Dalam 50 Tahun



Percepatan Respon Spektra 1 detik di Permukaan Tanah untuk Probabilitas Terlampau 2% Dalam 50 Tahun



Gambar 5. 25 Peta Percepatan Respon Spektra 1 detik di Permukaan Tanah untuk Probabilitas Terlampau 2% Dalam 50 Tahun



Percepatan Respon Spektra 1 detik di Permukaan Tanah untuk Probabilitas Terlampai 10% Dalam 50 Tahun



Gambar 5. 26 Peta Percepatan Respon Spektra 1 detik di Permukaan Tanah untuk Probabilitas Terlampai 10% Dalam 50 Tahun

Pada Gambar 5.15 dan 5.16 menunjukkan peta hasil analisis hazard gempa berupa percepatan tanah puncak (PGA) di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun. Pada percepatan tanah puncak (PGA) di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun) menunjukkan rentang nilai antara 0.15 – 2g, sedangkan percepatan tanah puncak (PGA) di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun (periode ulang 475 tahun) menunjukkan rentang nilai antara 0.05 – 1.2g.

Pada Gambar 5.17 dan 5.18 menunjukkan peta hasil analisis hazard gempa berupa percepatan respon spektra 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun. Pada percepatan respon spektra 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun) menunjukkan rentang nilai antara 0.3 sampai >3.5g, sedangkan percepatan respon spektra 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun (periode ulang 475 tahun) menunjukkan rentang nilai antara 0.2 – 3g.

Pada Gambar 5.19 dan 5.20 menunjukkan peta hasil analisis hazard gempa berupa percepatan respon spektra 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun. Pada percepatan respon spektra 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun) menunjukkan rentang nilai antara 0.15 - 2g, sedangkan percepatan respon spektra 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun (periode ulang 475 tahun) menunjukkan rentang nilai antara 0.05 – 1g.

Pada Gambar 5.21 dan 5.22 menunjukkan peta hasil analisis hazard gempa berupa percepatan tanah puncak (PGA) di permukaan tanah untuk probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun. Pada percepatan tanah puncak (PGA) di permukaan tanah untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun) menunjukkan rentang nilai antara 0.2 – 3.5g, sedangkan percepatan tanah puncak (PGA) di permukaan tanah untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun (periode ulang 475 tahun) menunjukkan rentang nilai antara 0.1 – 3.5g.

Pada Gambar 5.23 dan 5.24 menunjukkan peta hasil analisis hazard gempa berupa percepatan respon spektra 0.2 detik di permukaan tanah untuk probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun. Pada percepatan respon spektra 0.2 detik di permukaan tanah untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun) menunjukkan rentang nilai antara 0.4 – 3.5g, sedangkan percepatan respon spektra 0.2 detik di permukaan tanah untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun (periode ulang 475 tahun) menunjukkan rentang nilai antara 0.25 – 3.5g.

Pada Gambar 5.25 dan 5.26 menunjukkan peta hasil analisis hazard gempa berupa percepatan respon spektra 1 detik di permukaan tanah untuk probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun. Pada percepatan respon spektra 1 detik di permukaan tanah untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun) menunjukkan rentang nilai antara 0.01 – 3.5g, sedangkan percepatan respon spektra 1 detik di permukaan tanah untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun (periode ulang 475 tahun) menunjukkan rentang nilai antara 0.1 – 2.5g.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Saputro & Aris (2018) dengan judul Analisis Percepatan Tanah Puncak Akibat Gempa Pada Kota Sorong Sebagai Upaya Mitigasi Bencana menunjukkan nilai percepatan tanah puncak untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun sebesar 0.7227g. Sementara itu, nilai percepatan tanah puncak untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun yang dihasilkan pada penelitian ini sebesar 0.8313g dengan rentang nilai dari 0.15g – 2g untuk Papua Barat Daya.

Kemudian, untuk penelitian yang dilakukan oleh Makrup et al. (2018) dengan judul *Seismic Hazard Map for Papua Island* menunjukkan nilai percepatan tanah puncak untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun berkisar antara 0.06g – 2.01g untuk seluruh wilayah Papua termasuk Papua New Guinea dan 0.06g – 0.91g untuk wilayah Papua Barat Daya. Sementara itu, nilai percepatan tanah puncak untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar antara 0.05g – 1.2g.

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, diperoleh nilai percepatan tanah puncak untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun sebesar 0.8313g sedangkan pada penelitian sebelumnya memperoleh nilai percepatan tanah puncak untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun sebesar 0.7227g. Kemudian nilai percepatan tanah puncak untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun dari penelitian ini berkisar antara 0.05g – 1.2g dan penelitian sebelumnya berkisar antara 0.06g – 2.01g untuk seluruh wilayah Papua termasuk Papua New Guinea dan 0.06g – 0.91g untuk wilayah Papua Barat Daya. Dapat dilihat bahwa hasil penelitian ini memiliki nilai yang cukup dekat dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Saputro & Aris (2018) dan Makrup et al. (2018).

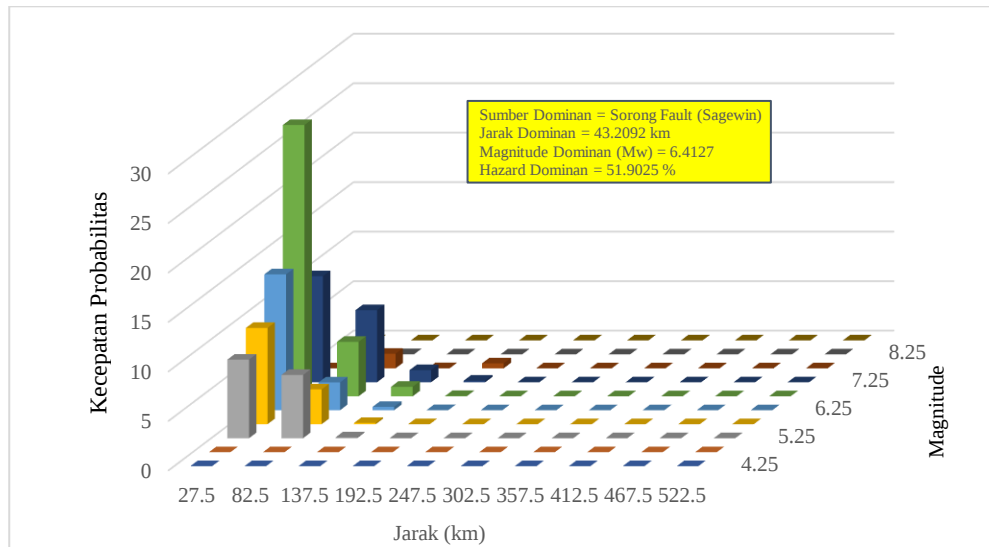
Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan hasil penelitian adalah

1. Untuk penelitian yang dilakukan oleh Saputro & Aris (2018) menggunakan analisis PGA berdasarkan distribusi metode Gumbel, sedangkan pada penelitian ini menggunakan metode PSHA. Data kejadian gempa yang digunakan pada penelitian sebelumnya mulai dari tahun 1918 – 2017 dan untuk penelitian ini menggunakan data kejadian gempa mulai dari tahun 1960 – 2023.
2. Untuk penelitian yang dilakukan oleh Makrup et al. (2018) data kejadian gempa yang digunakan mulai dari tahun 1963 – 2016, sedangkan pada penelitian ini menggunakan data kejadian gempa dari tahun 1960 – 2023.

5.7 Deagregasi Hazard

Analisis berbagai macam sumber bahaya gempa yang mempengaruhi suatu lokasi disebut *Deagregasi hazard*. Analisis ini dilakukan dengan memprediksi besarnya jarak dominan dan *magnitude* dominan. Oleh karena itu, analisis ini menggunakan pendekatan probabilistik, yang berarti mempertimbangkan semua kemungkinan dari tiap sumber gempa (*earthquake source*) berdasarkan parameternya. Tujuan dari proses deagregasi adalah untuk memperkirakan gempa penentu dari wilayah yang ditinjau. Hal ini dapat menghasilkan rata-rata *magnitude* (*mean magnitude*) dan rata-rata jarak (*mean distance*) yang akan membantu dalam menentukan *ground motion* aktual dengan karakteristik yang sesuai dengan kondisi

yang diinginkan. Pada penelitian ini, *degregasi hazard* yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 5.27 Sebagai berikut.



Gambar 5. 27 Hasil *Deagregasi Hazard* Daerah Penelitian

Hasil dari analisis deagregasi menggunakan program SRModel menghasilkan sumber dominan yaitu Sorong Fault (Sagewin), jarak dominan sebesar 43.2092 km, magnitude dominan sebesar 6.4127 Mw dan hazard dominan sebesar 51.9025%. Titik berat dari setiap sumber gempa pada suatu wilayah ditentukan oleh nilai *dominan magnitude* (M_D) dan *dominan distance* (R_D). Secara umum, wilayah yang jauh dari sumber gempa *shallow crustal*, dominan dipengaruhi oleh gempa-gempa yang berasal dari sumber gempa subduksi. Sebaliknya, wilayah yang dekat dengan sumber gempa *shallow crustal* akan dominan dipengaruhi oleh gempa-gempa yang berasal dari *shallow crustal* tersebut.

5.8 Rekaman Gerakan Tanah (*Ground Motion*)

Dari proses *Deagregasi Hazard* yang telah dilakukan, didapat parameter berupa magnitude dominan (M_D) dan jarak dominan (R_D). Magnitude dan jarak digunakan sebagai acuan dalam menentukan gerakan tanah. Gerakan tanah tersebut dapat diunduh dari situs *Peer Ground Motion Database*. Gerakan tanah dapat diambil dengan memperhitungkan kedekatan magnitude (M_w) dan jarak (R) dari hasil deagregasi hazard.

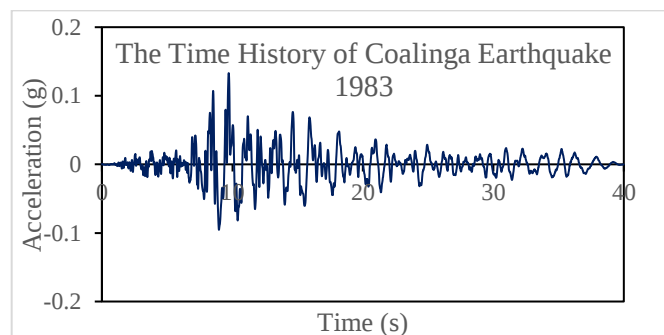
5.9 Spectral Matching

Hasil deagregasi hazard gempa di daerah penelitian menghasilkan magnitude (M) dan jarak (R) rata-rata paling dominan yang mempengaruhi wilayah tersebut. Hasil deagregasi ini kemudian disimulasikan gerakan tanah dibatuan dasar 2/3MC_{Er}. Dari hasil deagregasi hazard diatas, dapat dicari Gerakan Tanah yang terdekat melalui *Peer Ground Motion Database*. Adapun hasilnya dapat dilihat pada tabel 5.8 dibawah.

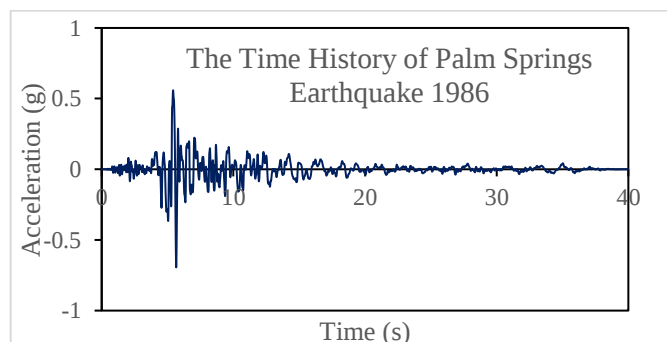
Tabel 5. 8 Data *Time History*

Ground Motion	Year	Stasiun Name	Magnitude (Mw)	Jarak (km)	Sense Mechanism
Coalinga	1983	CSMIP 36306	6.5	±35 km	Blind Reverse Fault
Palm Springs	1986	46 USGS	6.0	±50 km	Right Lateral Strike Fault

Pada tabel 5.8 diatas menunjukkan data time history gempa yang digunakan untuk melakukan proses matching. Data *time history* tersebut adalah data gempa *Coalinga* dan *Palm Springs*. Data rekaman time history gempa dapat dilihat pada Gambar 5.28 dan Gambar 5.29 dibawah ini.

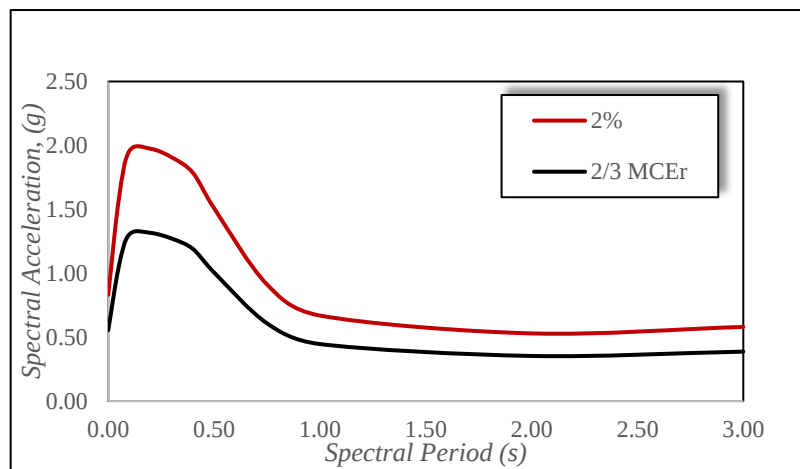


Gambar 5. 28 *Time History* Aktual *Coalinga*



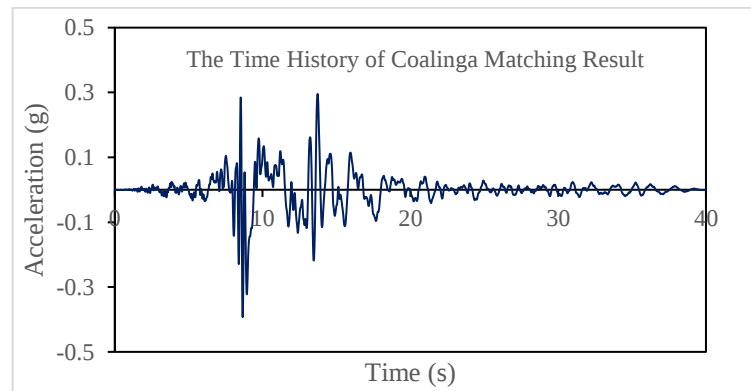
Gambar 5. 29 *Time History* Aktual *Palm Springs*

Gambar 5.28 dan Gambar 5.29 diatas merupakan *time history* aktual yang diambil dari rekaman gempa *Coalinga* dan *Palmsprings* sehingga proses matching diperlukan agar sesuai dengan kondisi lokasi penelitian. Di lokasi penelitian, *time history* dapat diskalakan terhadap respon spektra target. Dalam penelitian ini, respon spektra di batuan dasar 2/3MCEr digunakan sebagai target spektra dalam analisis *spectral matching*. Respon spektra target daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.30.

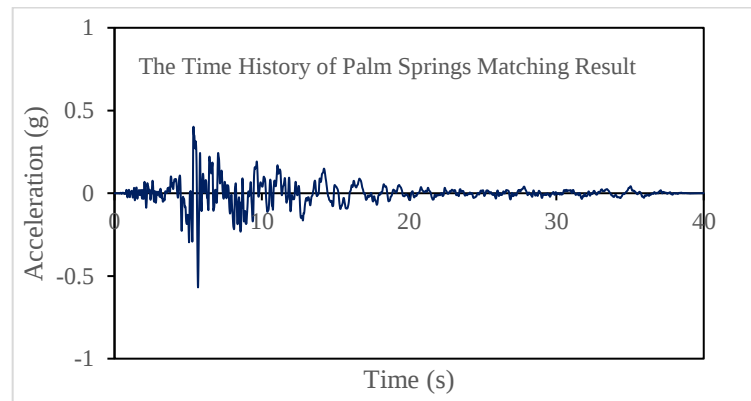


Gambar 5. 30 Respon Spektra Target Daerah Penelitian

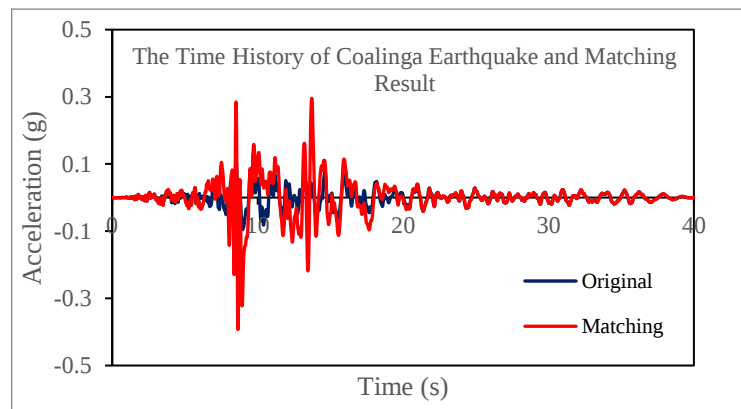
Dalam penelitian ini, proses analisis *spectral matching* dilakukan dengan menggunakan bantuan software Seismomatch.



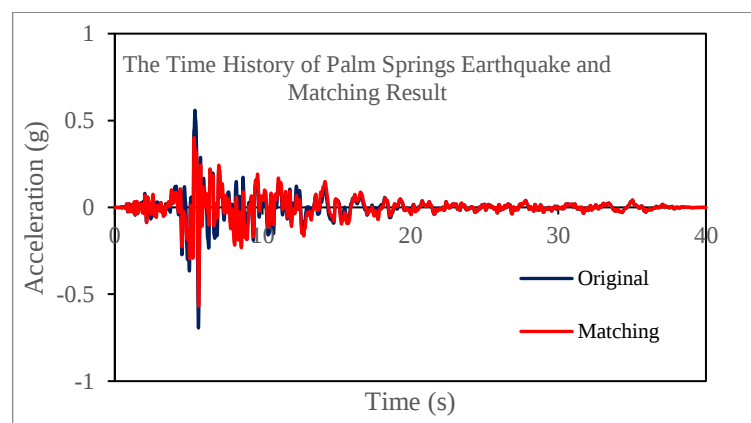
Gambar 5. 31 *Time History* Hasil *Matching Coalinga*



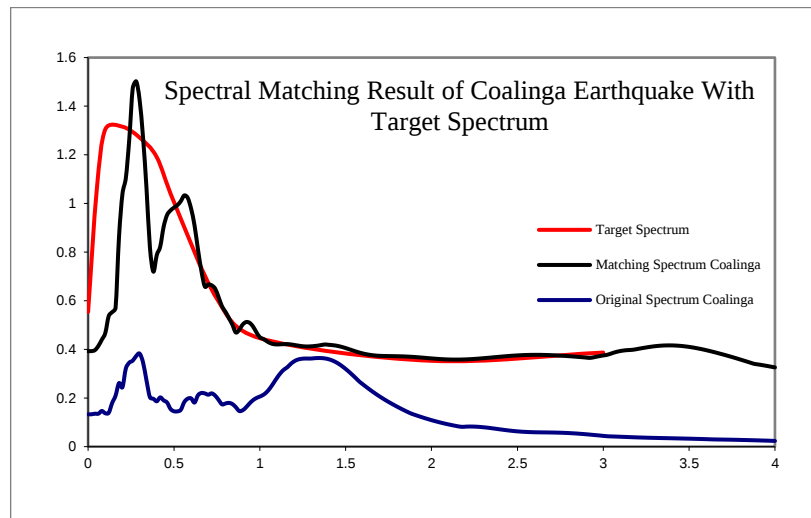
Gambar 5. 32 *Time History Hasil Matching PalmSprings*



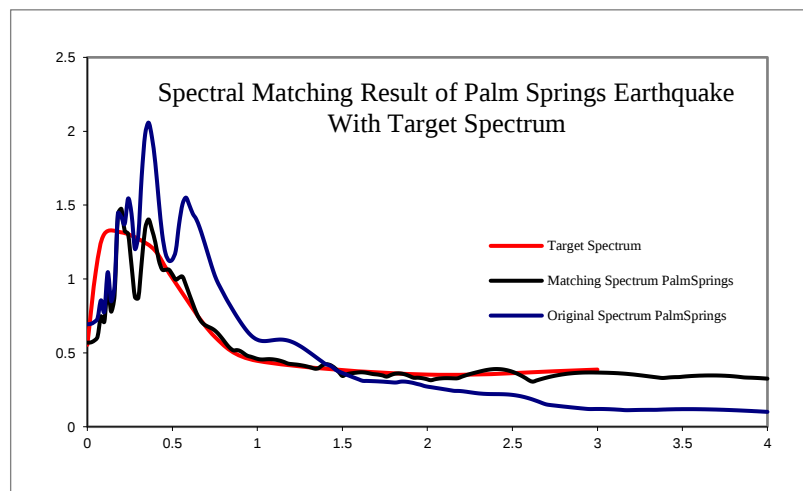
Gambar 5. 33 Perbandingan *Time History*



Gambar 5. 34 Perbandingan *Time History*



Gambar 5. 35 Hasil *Spectral Matching Coalinga* dan Spektral Target



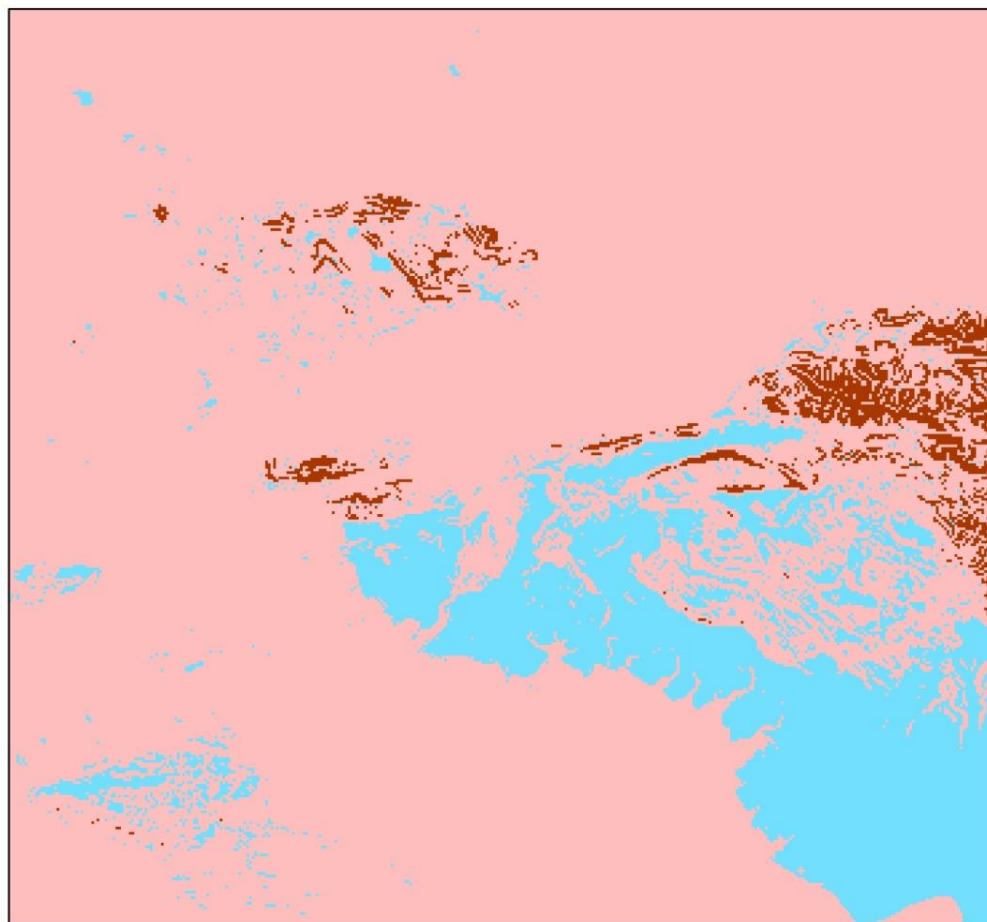
Gambar 5. 36 Hasil *Spectral Matching Palm Springs* dan Spektral Target

5.10 Kecepatan Gelombang Geser (V_{s30})

Kecepatan gelombang geser (V_{s30}) adalah parameter untuk mengevaluasi sifat dinamika tanah. Data V_{s30} untuk penelitian ini di peroleh dari USGS. Kelas situs atau klasifikasi kelas situs didasarkan pada kekuatan getaran gempa bumi akibat efek lokal. Berdasarkan SNI 1726-2019 tentang klasifikasi kelas situs tanah menjelaskan bahwa terdapat 6 kelas situs yaitu kelas situs A sampai F dengan struktur batuan keras hingga tanah khusus. Pada penelitian ini menunjukkan hasil kecepatan gelombang geser (V_{s30}) di Provinsi Papua Barat Daya dengan nilai V_{s30}

= 175-350 m/s dimana nilai tersebut masuk dalam klasifikasi kelas situs tanah SD dengan deskripsi jenis tanah sedang, nilai $V_{s30} = 350-750$ m/s dimana nilai tersebut masuk dalam klasifikasi kelas situs tanah SC dengan deskripsi jenis tanah keras, sangat padat dan batuan lunak serta nilai $V_{s30} = > 750$ m/s dimana nilai tersebut masuk dalam klasifikasi kelas situs tanah SB dengan deskripsi jenis batuan sedang yang dapat dilihat pada Gambar 5.37 dibawah ini.

**Peta V_{s30}
Papua Barat Daya**



Legend

- $V_{s30} = 175 - 350$
- $V_{s30} = 350 - 750$
- $V_{s30} = > 750$

Gambar 5. 37 Peta Kecepatan Gelombang Geser (V_{s30}) di Papua Barat Daya

5.11 Analisis Respon Dinamik Tanah

Analisis respon dinamik tanah dilakukan untuk menentukan nilai percepatan gempa yang terjadi di permukaan. Analisis respon dinamik tanah dilakukan dalam penelitian ini untuk menentukan parameter dinamik tanah dan perambatan gelombang dari batuan dasar ke permukaan tanah. Parameter tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil pengujian tanah berupa data borlog tanah yang ada di Kota Sorong, Papua Barat Daya.

Tabel 5. 9 Data Pengujian Tanah yang Digunakan untuk Analisis Respon Dinamika Tanah

No	Lokasi Penelitian	Koordinat	
		Longitude	Latitude
1	Kota Sorong	131.288269	-0.881887

Parameter dinamik tanah perlu dianalisis karena tanah memiliki tekstur yang berlapis-lapis dengan karakteristiknya masing-masing, dimana setiap lapisan tanah memiliki pola dan perilaku yang berbeda dalam proses perambatan gelombang. Dari proses penyelidikan tanah pada lokasi yang di tinjau diperoleh parameter dinamik tanah yang dibutuhkan berupa modulus geser maksimum (G_{max}) dan kecepatan rambat gelombang geser (V_s). Analisis respon dinamik tanah dilakukan untuk mendapatkan *Ground Motion*, *Respon Spectra* dan *Shear Stress Ratio* yang diperoleh pengujian tanah (SPT) di lapangan.

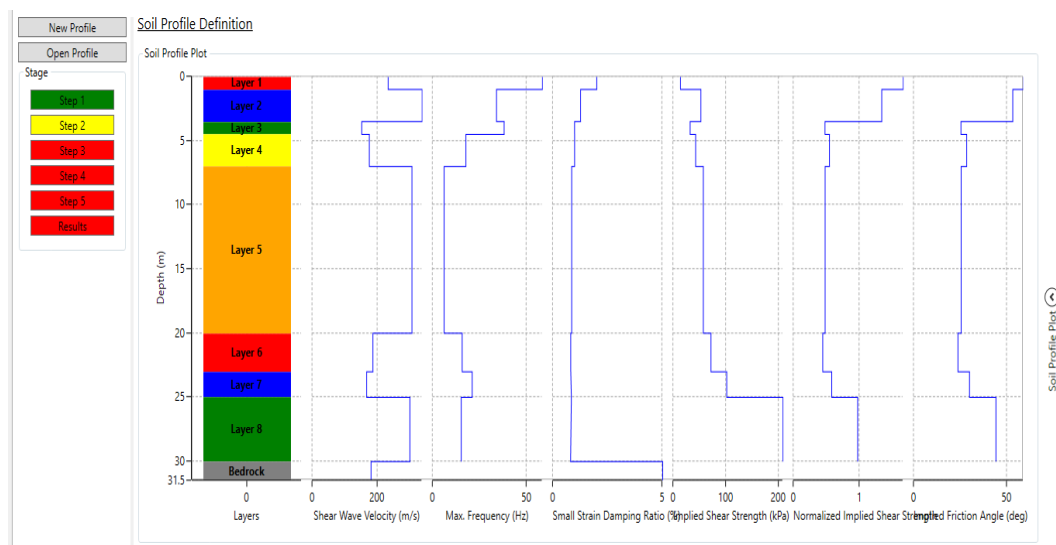
Perambatan gelombang akan dilakukan secara vertikal dari batuan dasar ke permukaan tanah dengan menggunakan bantuan *software* Deepsoil v7, Berikut ini hasil perhitungan gelombang geser (V_s).

Tabel 5. 10 Hasil Perhitungan Parameter Dinamik Tanah

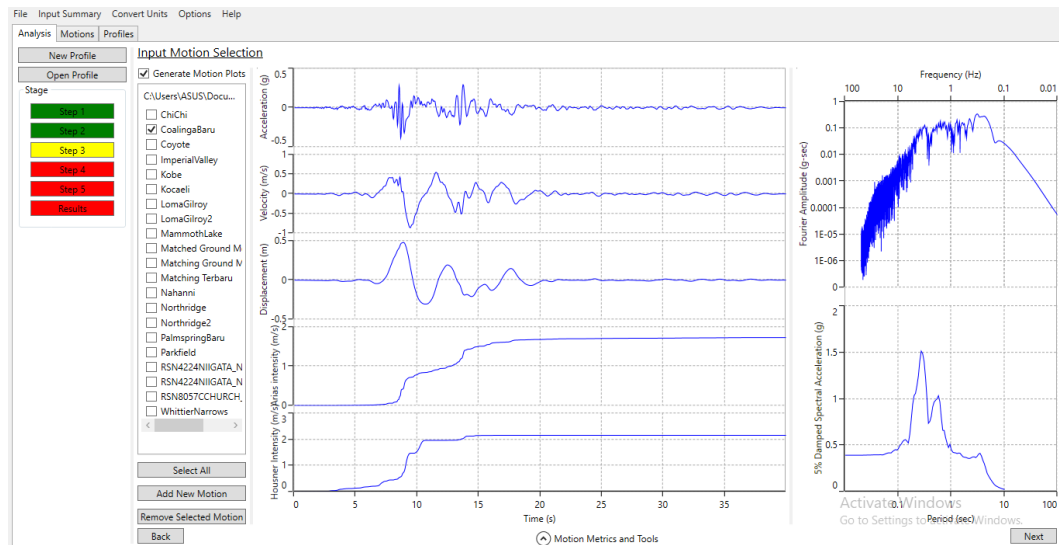
No	Material	Thick (m)	Depth (m)	NSPT	Ohta, Goto (1978)	Imai, Tonouchi (1982)	V_s Pakai
1	<i>Silty Sand</i>	1	1	2	217.98	247.63	232.81
2	<i>Silty Clay</i>	2.5	3.5	2	316.23	359.24	337.74
3	<i>Silty Clay</i>	1	4.5	2	141.63	160.90	151.26
4	<i>Silty Sand</i>	2.5	7	6	163.43	185.66	174.54

No	Material	Thick (m)	Depth (m)	NSPT	Ohta, Goto (1978)	Imai, Tonouchi (1982)	Vs Pakai
5	Clayey Silt	13	20	3.8	286.75	325.74	306.24
6	Clayey Silt	3	23	8	173.91	197.57	185.74
7	Silty Sand	2	25	22	155.85	177.04	166.45
8	Gravelly Sand	5	30	60	280.96	319.17	300.06

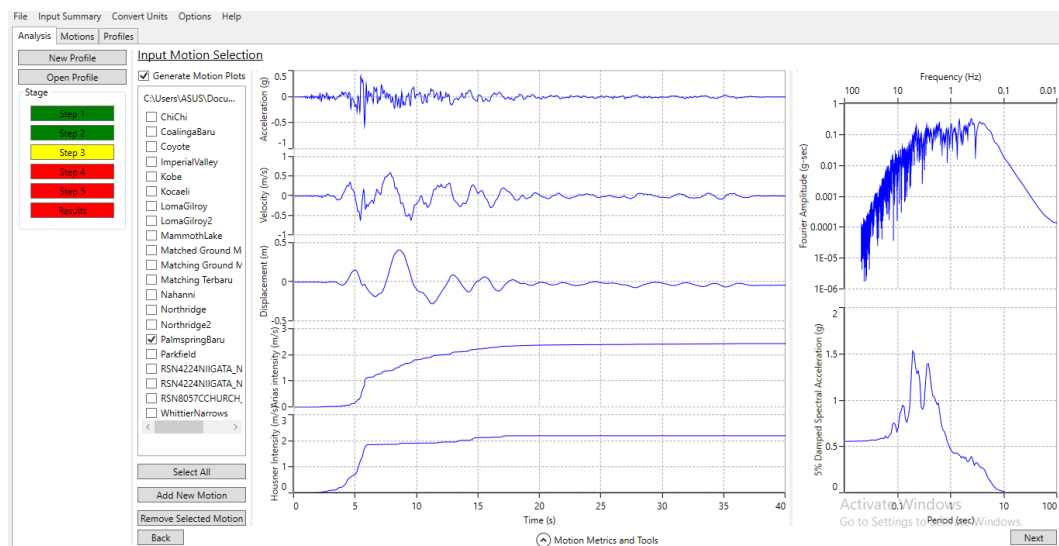
Hasil perhitungan nilai kecepatan gelombang geser (V_s) dari pengujian N-SPT di daerah Sorong dengan korelasi nilai kecepatan gelombang geser (V_s) dan nilai respon spektral per lapis tanah yang menunjukkan grafik nilai *Ground Motion*, *Respon Spectra* dan *Shear Stress Ratio* terhadap kedalaman 2/3 dari 2% dalam 50 tahun. Kecepatan gelombang geser pakai (V_s pakai) yang digunakan untuk analisis dengan bantuan *software* Deepsoil dihitung dengan mengambil rata-rata dari kedua hasil persamaan kecepatan gelombang geser (V_s).



Gambar 5. 38 Soil Profile

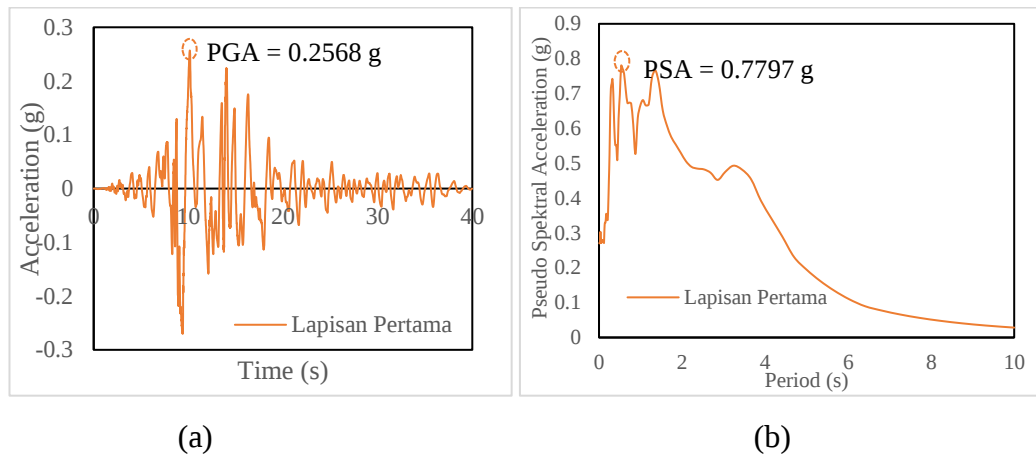


Gambar 5. 39 Data Sumber Gempa Coalinga sebagai *Input Motion*

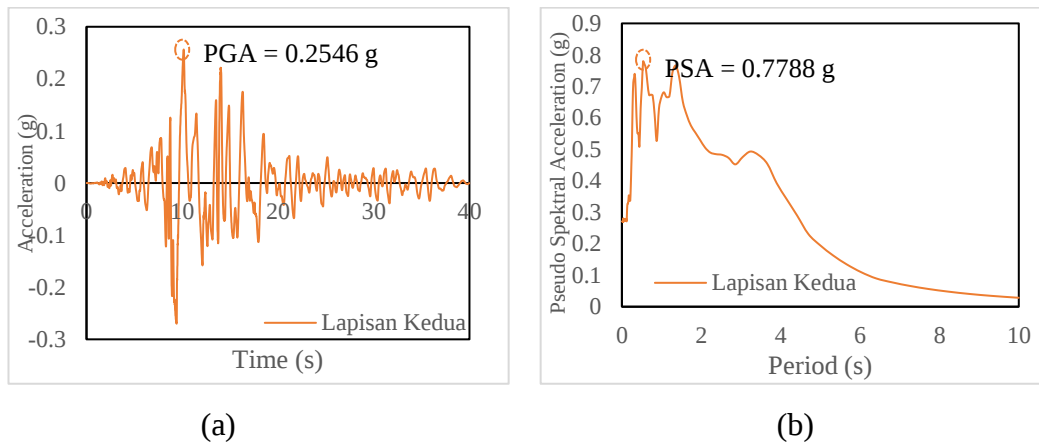


Gambar 5. 40 Data Sumber Gempa Palmsprings sebagai *Input Motion*

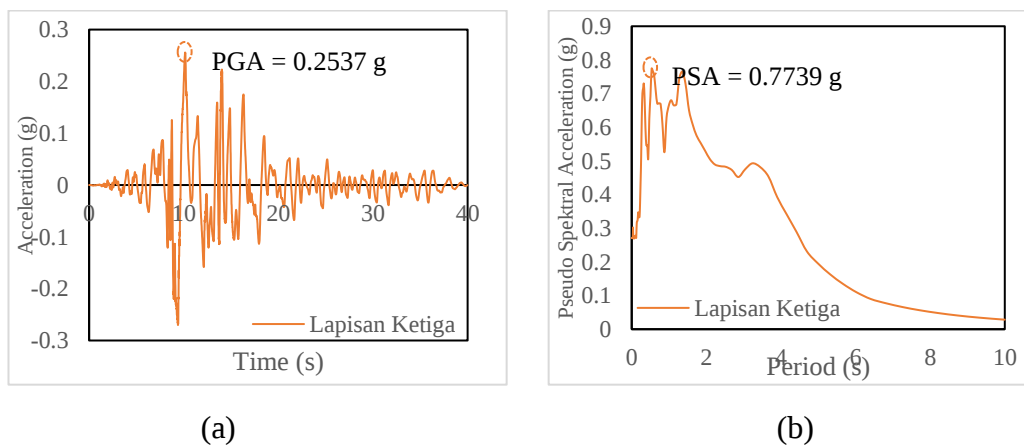
Setelah proses analisis pada *time history* di batuan dasar selesai, kemudian dilakukan perambatan gelombang dari batuan dasar ke permukaan. Dalam proses ini, parameter dinamik tanah pada tiap lapisan dimasukkan kedalam software Deepsoil. Adapun hasil analisis *Ground Motion* dan *Respon Spectra* pada setiap lapisan tanah yang ditinjau untuk data gempa Coalinga dapat dilihat pada gambar 5.41 sampai 5.48.



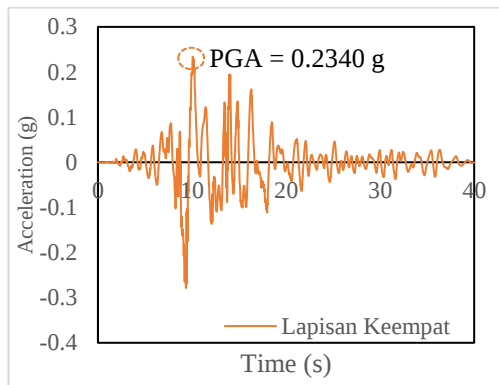
Gambar 5. 41 Hasil Analisis Lapis pertama Gempa Coalinga (a) *Ground Motion*
(b) *Respon Spectra*



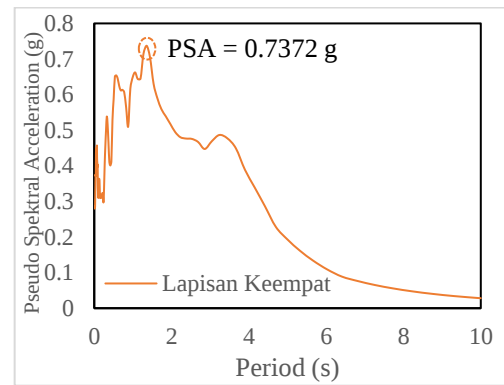
Gambar 5. 42 Hasil Analisis Lapis Kedua Gempa Coalinga (a) *Ground Motion*
(b) *Respon Spectra*



Gambar 5. 43 Hasil Analisis Lapis Ketiga Gempa Coalinga (a) *Ground Motion*
(b) *Respon Spectra*



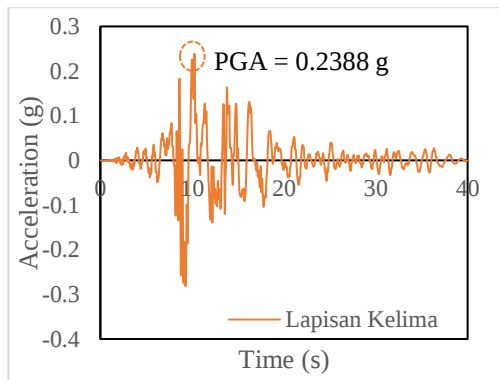
(a)



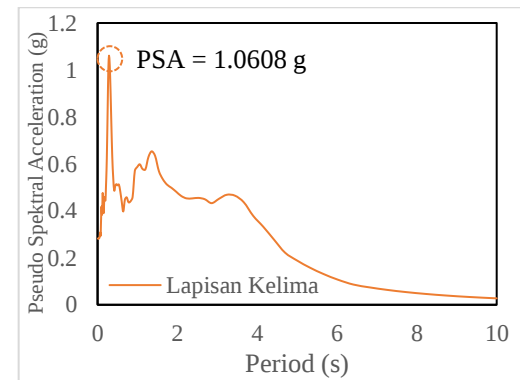
(b)

Gambar 5. 44 Hasil Analisis Lapis Keempat Gempa *Coalinga* (a) *Ground Motion*

(b) *Respon Spectra*



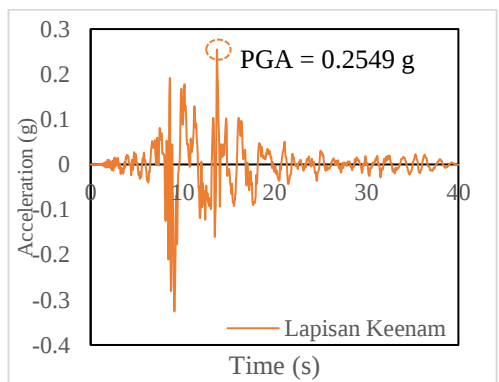
(a)



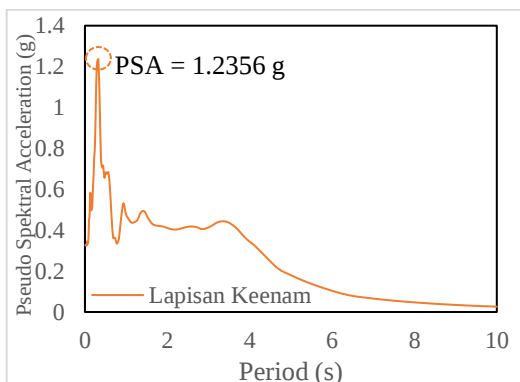
(b)

Gambar 5. 45 Hasil Analisis Lapis Kelima Gempa *Coalinga* (a) *Ground Motion*

(b) *Respon Spectra*



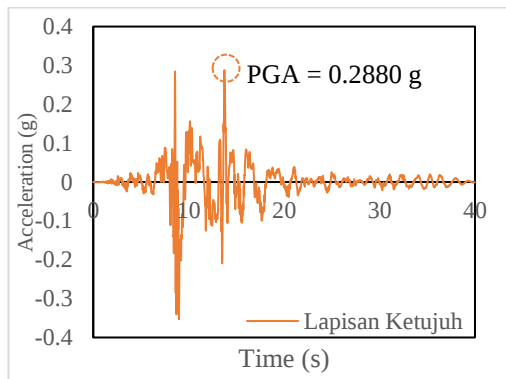
(a)



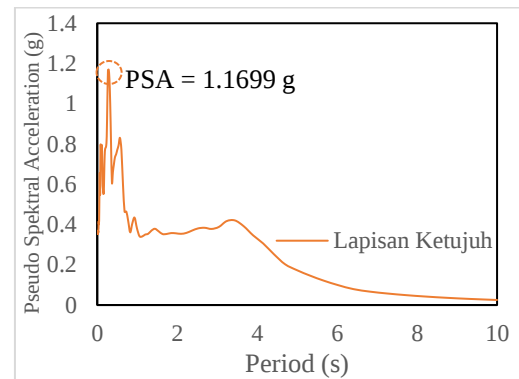
(b)

Gambar 5. 46 Hasil Analisis Lapis Keenam Gempa *Coalinga* (a) *Ground Motion*

(b) *Respon Spectra*

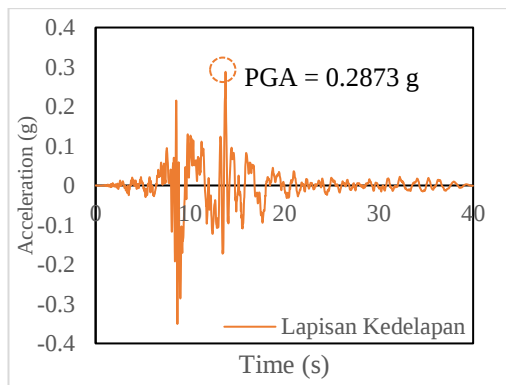


(a)

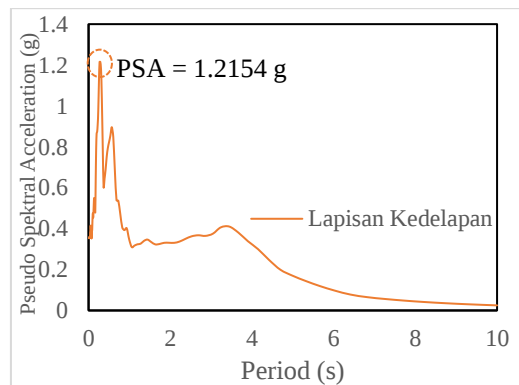


(b)

Gambar 5. 47 Hasil Analisis Lapis Ketujuh Gempa *Coalinga* (a) *Ground Motion* (b) *Respon Spectra*



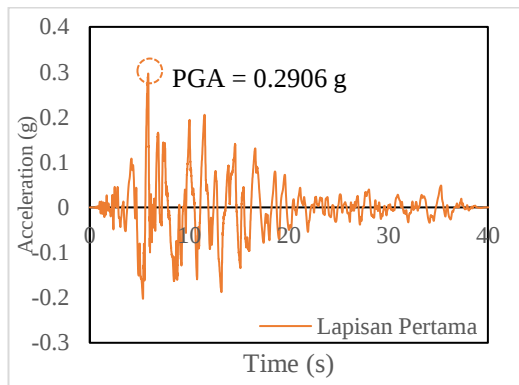
(a)



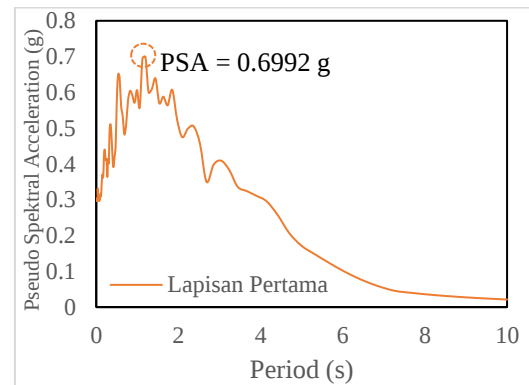
(b)

Gambar 5. 48 Hasil Analisis Lapis Kedelapan Gempa *Coalinga* (a) *Ground Motion* (b) *Respon Spectra*

Kemudian hasil analisis *Ground Motion* dan *Respon Spectra* pada setiap lapisan tanah yang ditinjau untuk data gempa *Palm Springs* dapat dilihat pada gambar 5.49 sampai 5.56.

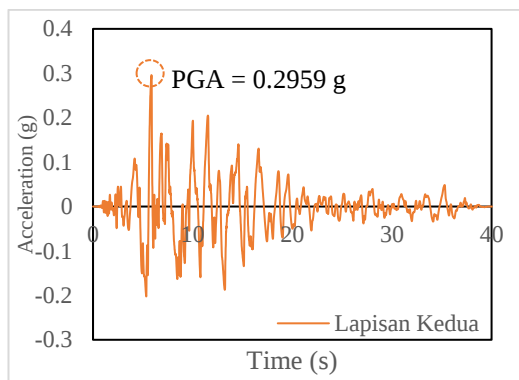


(a)

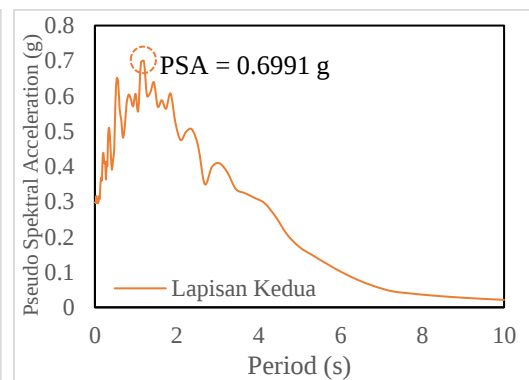


(b)

Gambar 5. 49 Hasil Analisis Lapis Pertama Gempa *Palm Springs* (a) *Ground Motion* (b) *Respon Spectra*

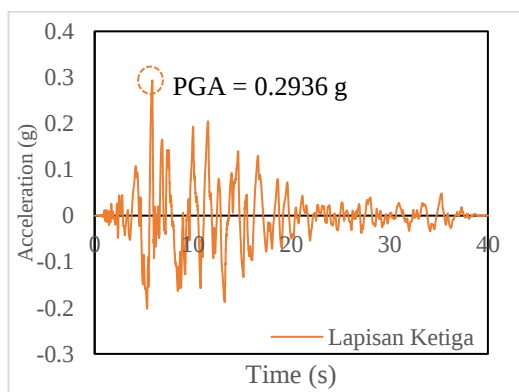


(a)

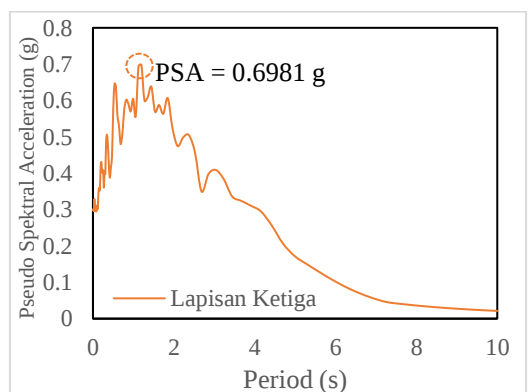


(b)

Gambar 5. 50 Hasil Analisis Lapis Kedua Gempa *Palm Springs* (a) *Ground Motion* (b) *Respon Spectra*

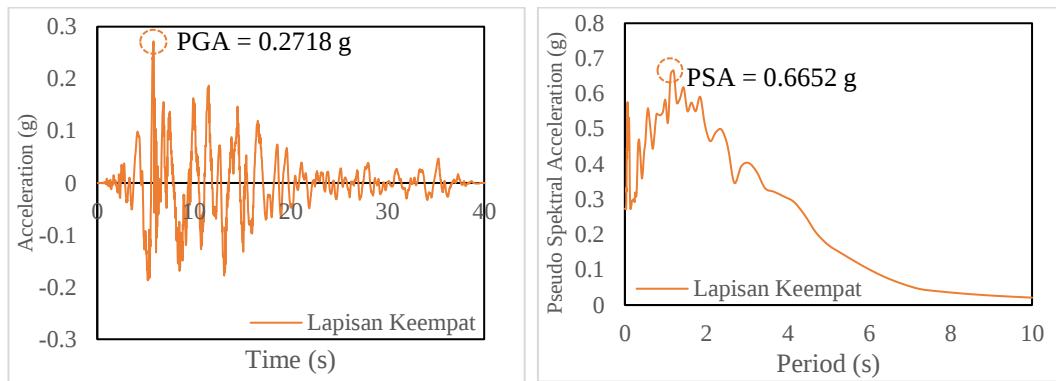


(a)

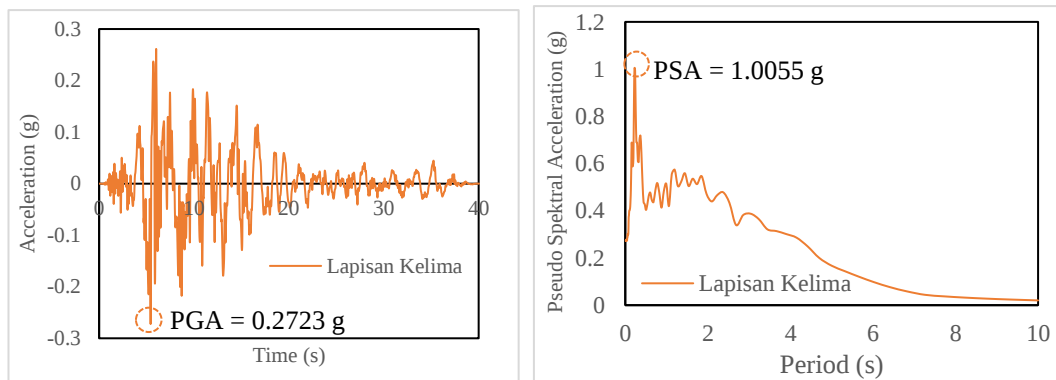


(b)

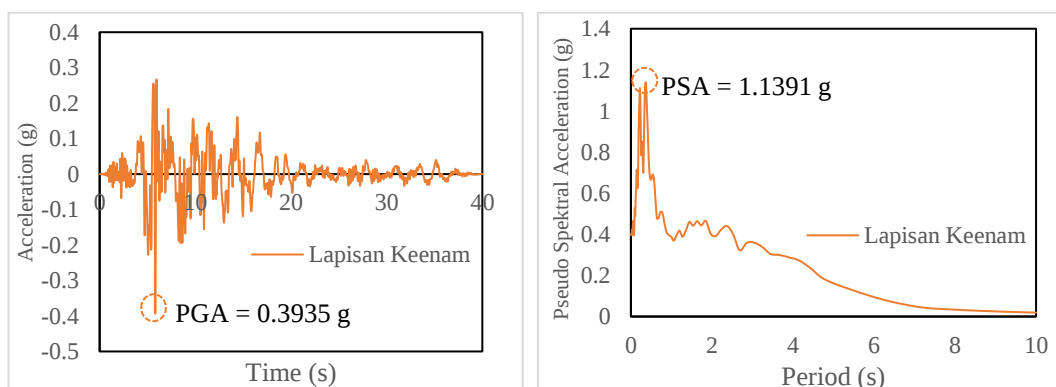
Gambar 5. 51 Hasil Analisis Lapis Ketiga Gempa *Palm Springs* (a) *Ground Motion* (b) *Respon Spectra*



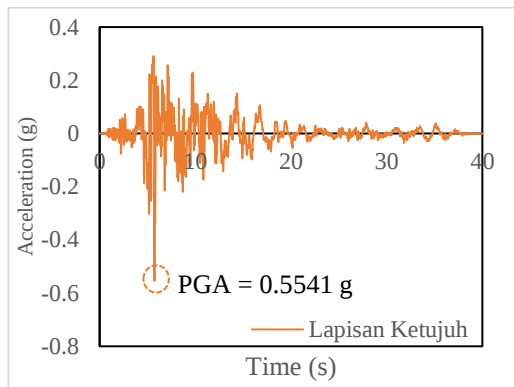
(a) (b)
Gambar 5. 52 Hasil Analisis Lapis Keempat Gempa *Palm Springs* (a) *Ground Motion* (b) *Respon Spectra*



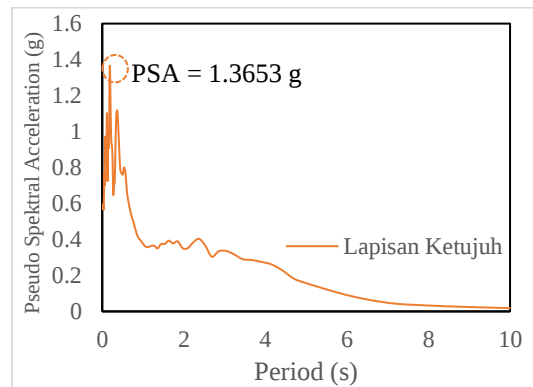
(a) (b)
Gambar 5. 53 Hasil Analisis Lapis Kelima Gempa *Palm Springs* (a) *Ground Motion* (b) *Respon Spectra*



(a) (b)
Gambar 5. 54 Hasil Analisis Lapis Keenam Gempa *Palm Springs* (a) *Ground Motion* (b) *Respon Spectra*

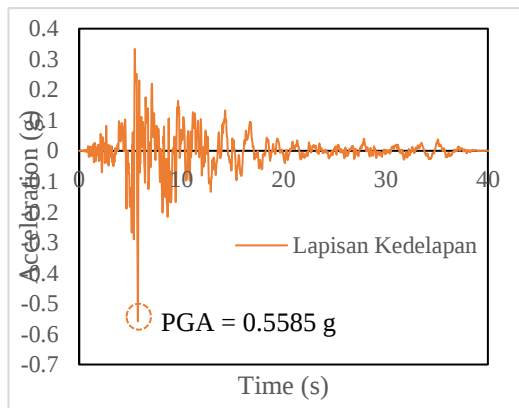


(a)

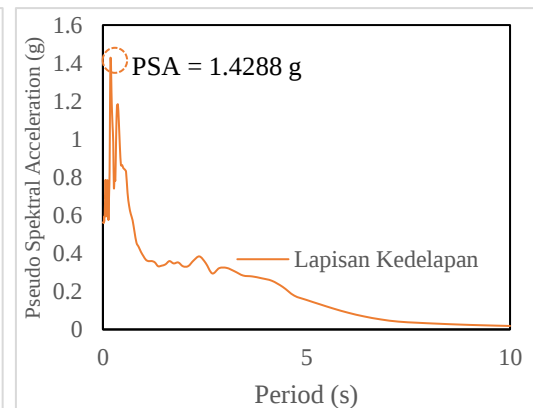


(b)

Gambar 5. 55 Hasil Analisis Lapis Ketujuh Gempa *Palm Springs* (a) *Ground Motion* (b) *Respon Spectra*



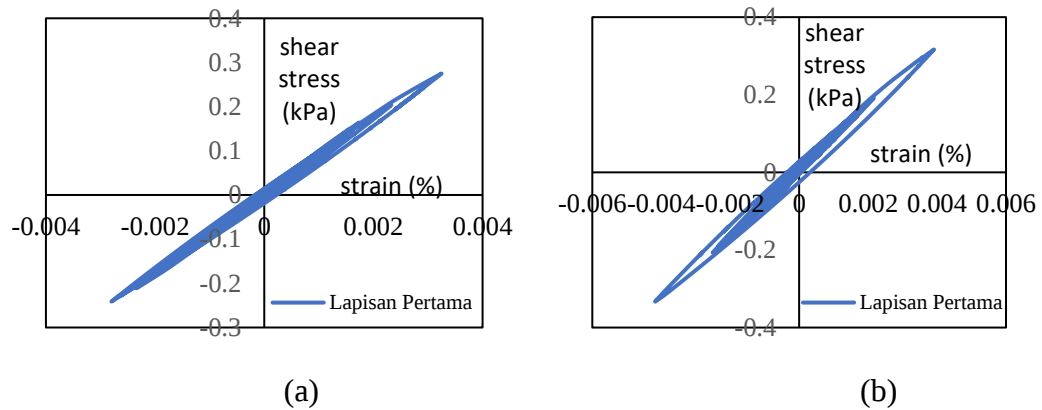
(a)



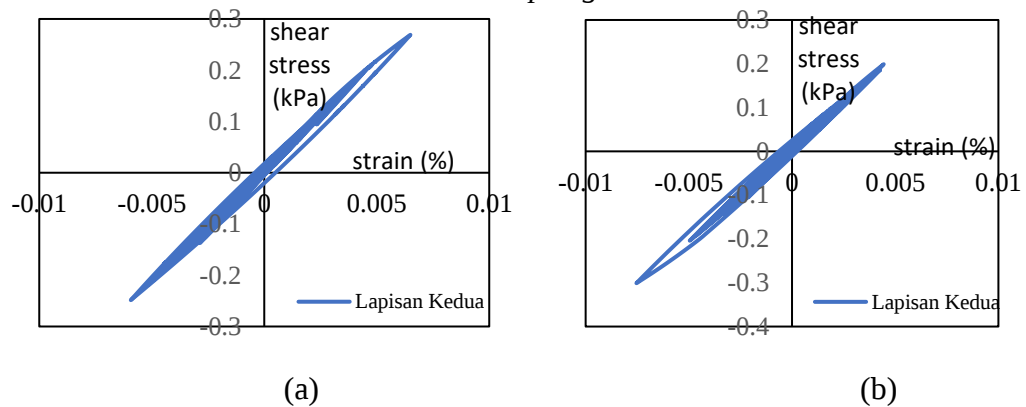
(b)

Gambar 5. 56 Hasil Analisis Lapis Kedelapan Gempa *Palm Springs* (a) *Ground Motion* (b) *Respon Spectra*

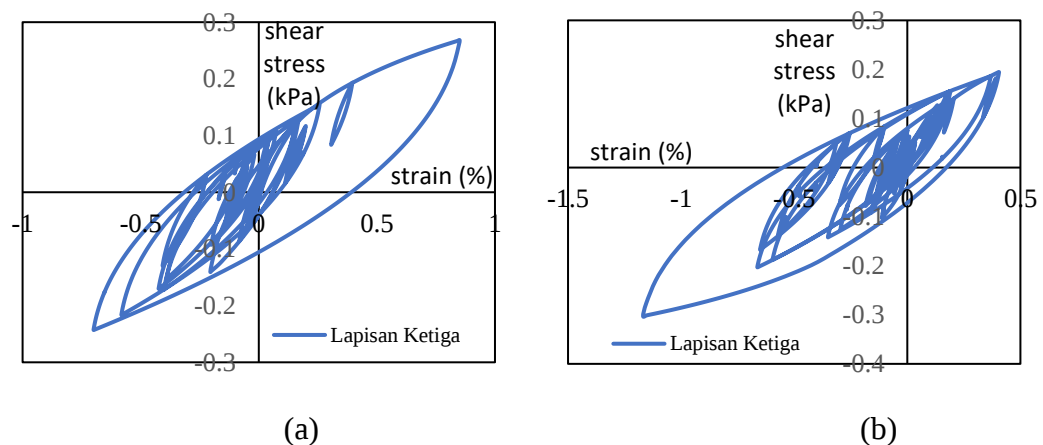
Adapun hasil *Hysteretic Loops* tiap lapisan untuk data gempa Coalinga dan Palm Springs dapat dilihat pada Gambar 5.57 sampai 5.64 dibawah ini.



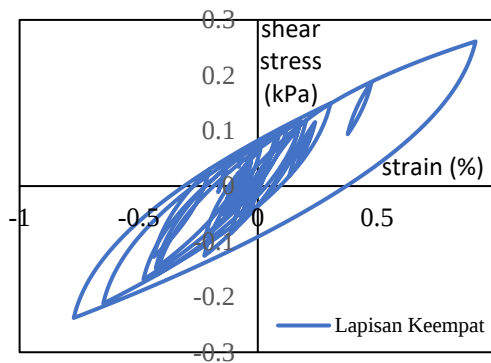
Gambar 5. 57 Hasil Analisis *Hysteretic Loops* Lapis Pertama (a) *Coalinga* (b) *Palm Springs*



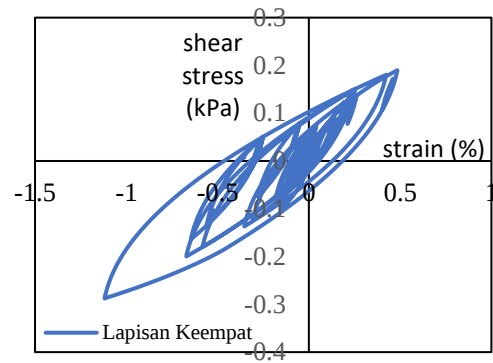
Gambar 5. 58 Hasil Analisis *Hysteretic Loops* Lapis Kedua (a) *Coalinga* (b) *Palm Springs*



Gambar 5. 59 Hasil Analisis *Hysteretic Loops* Lapis Ketiga (a) *Coalinga* (b) *Palm Springs*

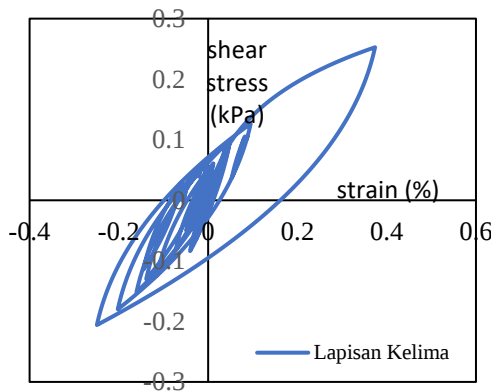


(a)

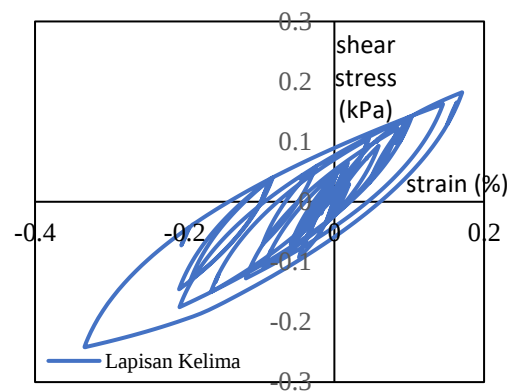


(b)

Gambar 5. 60 Hasil Analisis *Hysteretic Loops* Lapis Keempat (a) *Coalinga* (b) *Palm Springs*

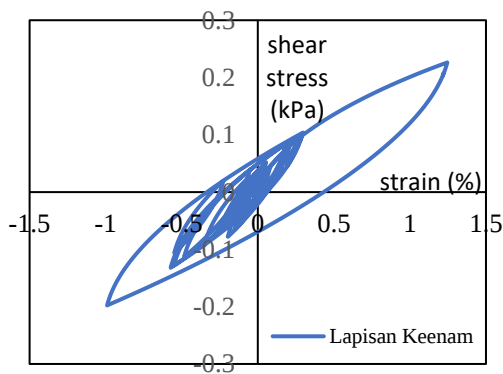


(a)

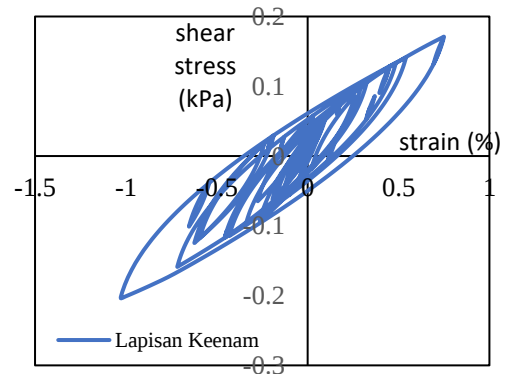


(b)

Gambar 5. 61 Hasil Analisis *Hysteretic Loops* Lapis Kelima (a) *Coalinga* (b) *Palm Springs*

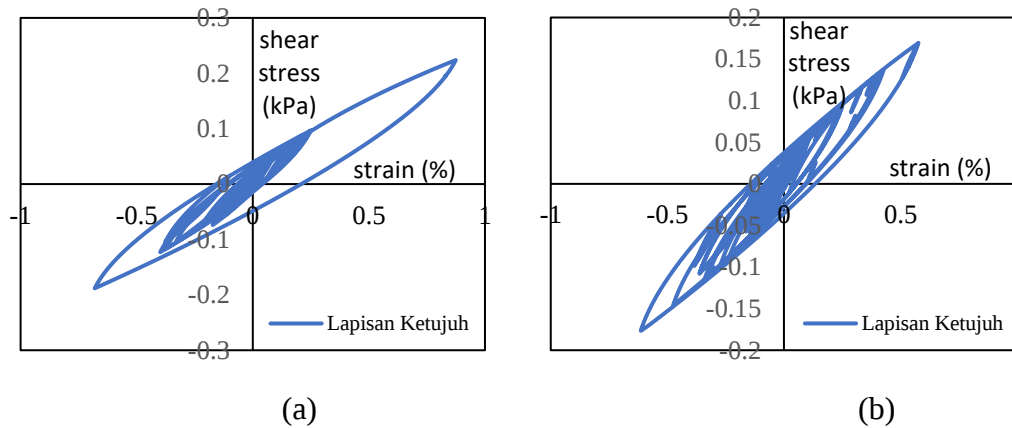


(a)

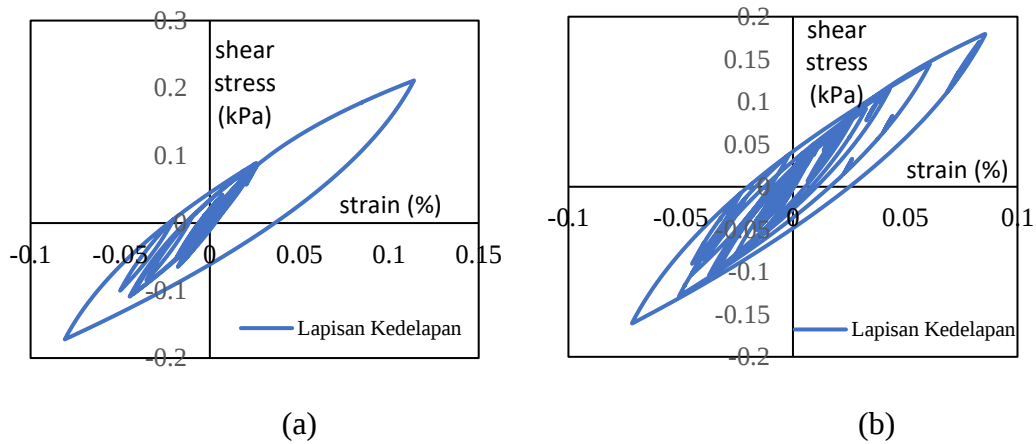


(b)

Gambar 5. 62 Hasil Analisis *Hysteretic Loops* Lapis Keenam (a) *Coalinga* (b) *Palm Springs*

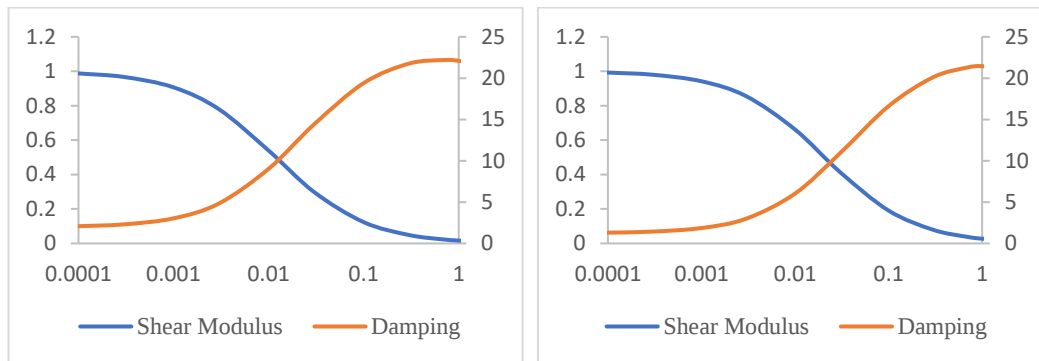


Gambar 5. 63 Hasil Analisis *Hysteretic Loops* Lapis Ketujuh (a) *Coalinga* (b) *Palm Springs*

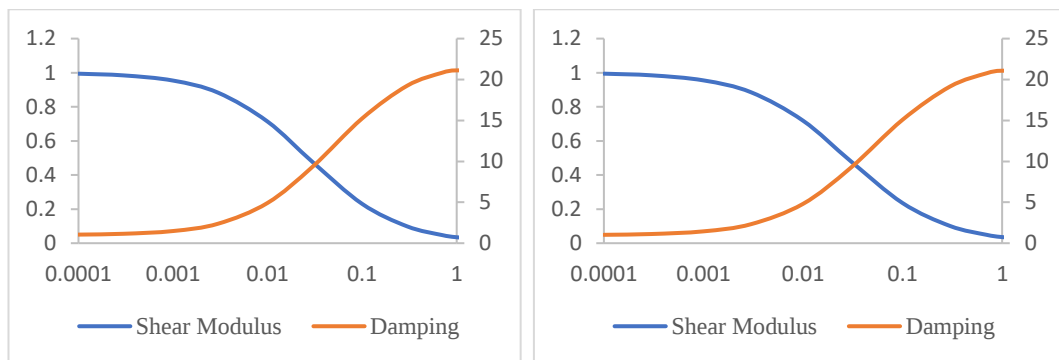


Gambar 5. 64 Hasil Analisis *Hysteretic Loops* Lapis Kedelapan (a) *Coalinga* (b) *Palm Springs*

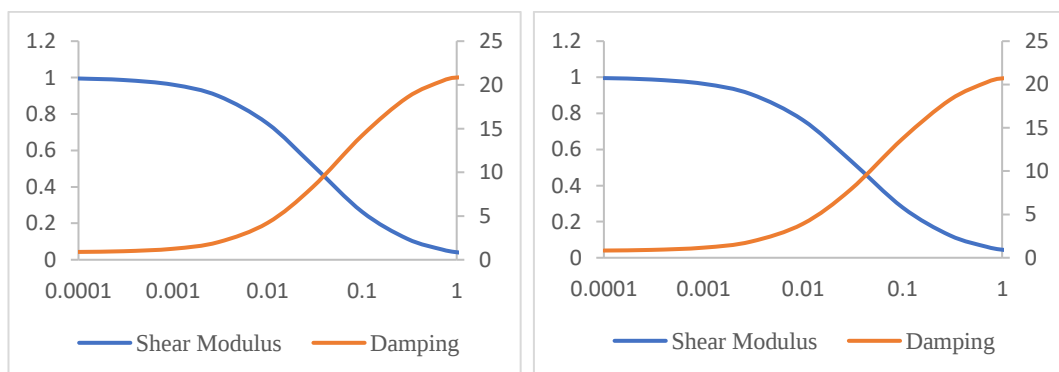
Pada lapisan tanah ketiga yang ada di Gambar 5.59 terlihat bahwa kurva *hysteretic loops* mulai melebar dan penuh, hal tersebut disebabkan oleh jenis tanah yang lempung. Kemudian, untuk hasil analisis Damping dan G_{max} tiap lapisan untuk data gempa *Coalinga* dan *Palm Springs* dapat dilihat pada Gambar 5.65 sampai Gambar 5.68.



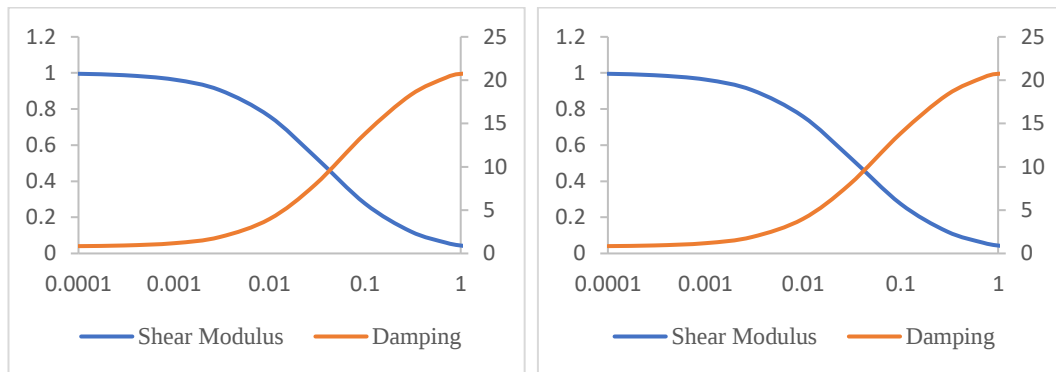
(a) (b)
Gambar 5. 65 Hasil Analisis G_{max} dan Damping (a) Lapis Pertama (b) Lapis Kedua



(a) (b)
Gambar 5. 66 Hasil Analisis G_{max} dan Damping (a) Lapis Ketiga (b) Lapis Keempat



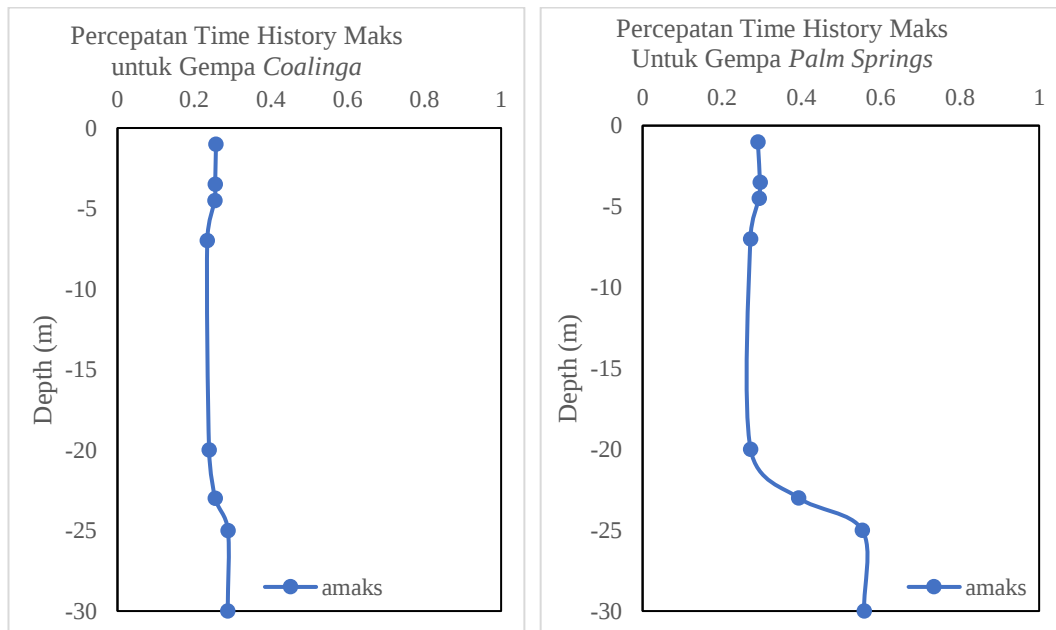
(a) (b)
Gambar 5. 67 Hasil Analisis G_{max} dan Damping (a) Lapis Kelima (b) Lapis Keenam



(a) (b)
Gambar 5. 68 Hasil Analisis G_{max} dan Damping (a) Lapis Ketujuh (b) Lapis Kedelapan

5.12 Faktor Amplifikasi

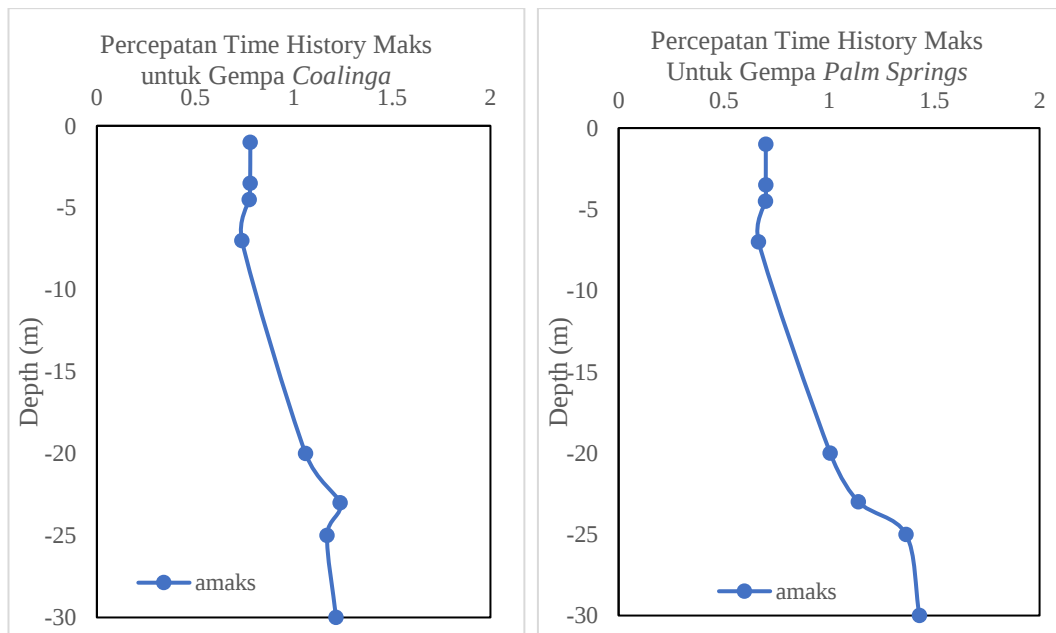
Pada lokasi penelitian, yang terletak di longitude 131.288269 dan latitude - 0.881887, untuk gempa *Coalinga* diperoleh PGA di permukaan sebesar 0.2568g dan PGA di batuan dasar sebesar 0.2873g. Selain itu, diperoleh juga Respons Spektra di permukaan sebesar 0.7797g dan Respons Spektra di batuan dasar sebesar 1.2154g. Sementara itu, untuk gempa *Palm Springs* diperoleh PGA di permukaan sebesar 0.2906g dan PGA di batuan dasar sebesar 0.5585g. Selain itu, diperoleh juga Respons Spektra di permukaan sebesar 0.6992g dan Respons Spektra di batuan dasar sebesar 1.4288g. Hasil analisis percepatan akibat pengaruh profil tanah dan parameter tanah pada setiap lapisan menunjukkan adanya faktor amplifikasi berupa deamplifikasi untuk kedua gempa tersebut. Dimana pada gempa *Coalinga* deamplifikasi sebesar 0.8938 untuk PGA dan deamplifikasi sebesar 0.6415 untuk respons spektra. Pada gempa *Palm Springs* deamplifikasi sebesar 0.5203 untuk PGA dan deamplifikasi sebesar 0.4893 untuk respons spektra. Respon percepatan gempa terhadap kedalaman lapisan tanah yang ditinjau terlihat adanya penurunan nilai percepatan tanah pada lapisan di permukaan tanah yang dapat dilihat pada Gambar 5.69 dan Gambar 5.70 dibawah ini.



(a)

(b)

Gambar 5. 69 Hasil Analisa Perambatan Gelombang pada Lapisan Tanah Berdasarkan Kedalaman yang ditinjau (a) PGA gempa *Coalinga* (b) PGA gempa *Palm Springs*



(a)

(b)

Gambar 5. 70 Hasil Analisa Perambatan Gelombang pada Lapisan Tanah Berdasarkan Kedalaman yang ditinjau (a) PSA gempa *Coalinga* (b) PSA gempa *Palm Springs*

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pada bab sebelumnya, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Peta *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) dibuat melalui proses sistematis yaitu dengan mengumpulkan data gempa yang diperoleh dari katalog gempa *United States Geological Survey* (USGS) dan mengkonversi skala magnitude yang diperoleh menjadi satu skala yang sama yaitu skala magnitude momen (M_w). Setelah data gempa dikonversi, dilakukan pemisahan gempa utama (*mainshock*) dan gempa susulan (*aftershock*). Kemudian dilakukan identifikasi dan karakterisasi sumber gempa untuk menentukan parameter a -value, b -value dan *magnitude of completeness* (M_c). Setelah parameter-parameter yang dibutuhkan untuk analisis diperoleh, dilanjutkan dengan pemilihan *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) dan pembuatan *Logic Tree*. Kemudian dilakukan perhitungan hazard (PSHA) yang dimana keluaran utama (*output*) dari analisis ini adalah *hazard curve*. Setelah itu penentuan probabilitas, yang mana pada penelitian ini digunakan probabilitas 2% dan 10% dalam 50 tahun. Proses akhir dari perhitungan hazard (PSHA) adalah pembuatan peta hazard untuk PGA (Peak Ground Acceleration), Spektra 0.2 detik dan 1 detik. Hasil analisis *seismic hazard* pada periode PGA, 0,2 detik, 1 detik untuk probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun adalah sebagai berikut :

- a. Periode percepatan tanah puncak (PGA) di batuan dasar untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.15g – 2g, sedangkan percepatan tanah puncak (PGA) di batuan dasar untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.05g – 1.2g. Pada periode percepatan respon spektra 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% menunjukkan rentang nilai antara 0.3g sampai >3.5g,

sedangkan percepatan respon spektra 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% menunjukkan rentang nilai 0.2g - 3g. Pada periode percepatan respon spektra 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% menunjukkan rentang nilai antara 0.15g-2g, sedangkan percepatan respon spektra 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% menunjukkan rentang nilai 0.05g - 1g.

- b. Periode percepatan tanah puncak (PGA) di permukaan tanah untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.2g – 3.5g, sedangkan percepatan tanah puncak (PGA) di permukaan tanah untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.1g – 3.5g. Pada periode percepatan respon spektra 0.2 detik di permukaan tanah untuk probabilitas terlampaui 2% menunjukkan rentang nilai antara 0.4g - 3.5g, sedangkan percepatan respon spektra 0.2 detik di permukaan tanah untuk probabilitas terlampaui 10% menunjukkan rentang nilai 0.25g – 3.5g. Pada periode percepatan respon spektra 1 detik di permukaan tanah untuk probabilitas terlampaui 2% menunjukkan rentang nilai antara 0.01g-3.5g, sedangkan percepatan respon spektra 1 detik di permukaan tanah untuk probabilitas terlampaui 10% menunjukkan rentang nilai 0.1g – 2.5g.
2. Hasil klasifikasi kelas situs menunjukkan bahwa kondisi tanah di lokasi penelitian termasuk dalam kategori tertentu berdasarkan nilai Vs30 (kecepatan gelombang geser rata-rata hingga kedalaman 30 meter), yang merepresentasikan karakteristik kekakuan tanah dan respons dinamik lapisan permukaan terhadap getaran gempa. Penentuan kelas situs diperoleh melalui pengambilan data Vs30 dari USGS. Berdasarkan nilai Vs30 tersebut klasifikasi kelas situs tanah di Provinsi Papua Barat Daya masuk ke dalam kelas situs SD (tanah sedang), SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak) dan SB (batuan sedang). Klasifikasi ini penting karena berpengaruh langsung terhadap nilai amplifikasi tanah, percepatan

gempa rencana serta perencanaan struktur bangunan tahan gempa di wilayah penelitian.

3. Hasil analisis perambatan gelombang dari batuan dasar ke permukaan tanah menunjukkan adanya faktor amplifikasi berupa deamplifikasi untuk gempa *Coalinga* dan *Palm Springs*. Deamplifikasi sebesar 0.8938 untuk amplifikasi PGA dan 0.6415 untuk amplifikasi respon spektra pada gempa *Coalinga*. Sementara itu untuk gempa *Palm Springs* Deamplifikasi sebesar 0.5203 untuk amplifikasi PGA dan 0.4893 untuk amplifikasi respon spektra. Deamplifikasi yang terjadi disebabkan oleh kondisi tanah yang sangat lunak pada lokasi penelitian yaitu Kota Sorong.

6.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya berupa.

1. Penelitian berkaitan dapat dilakukan menggunakan data gempa terbaru untuk menganalisa lebih jauh percepatan tanah yang dapat terjadi di Provinsi Papua Barat Daya.
2. Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan rujukan buku Pusat Studi Gempa Nasional yang terbaru.
3. Untuk menghindari data magnitude yang terbuang, maka disarankan menggunakan $M_{min} \leq 5$.
4. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan GMPE terbaru.
5. Menggunakan Logic Tree terbaru yang lebih kompleks.
6. Melakukan analisis PSHA dengan menggunakan *software* yang berbeda.
7. Melakukan penelitian tentang perambatan gelombang ke permukaan tanah dengan menggunakan lebih banyak data borlog.
8. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan untuk semua provinsi yg ada di Pulau Papua.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldiamar, F. (2007). *Analisa Resiko Gempa Dan Pembuatan Respon Spektra Desain Untuk Jembatan Suramadu Dengan Permodelan Sumber Gempa 3D*, Tesis, Institut Teknologi Bandung.
- Aldiamar, F., M., R., Rusli, Asrurifak, Irsyam, M., & Yunita, W. (2013). *Kajian Awal Kelas Situs Untuk Perencanaan Ketahanan Gempa Struktur Bangunan Gedung di DKI Jakarta*. Jurnal Permukiman, Vol. 8 (2) 108–114.
- Artati, H. K. (2023). *Potensi Likuefaksi Menggunakan Pendekatan State Parameter Berdasarkan Percepatan Maksimum Permukaan Tanah Akibat Gempa Hasil Codes, Deterministic and Probabilistic Seismic Hazard Analysis*. Disertasi, Universitas Islam Indonesia.
- Asrurifak, M. (2010). *Peta Respon Spektra Indonesia untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan Model Sumber Gempa Tiga Dimensi dalam Analisis Probabilitas*. Disertasi Teknik Sipil ITB, August, 286.
- Erlangga, W. (2020). *Karakteristik dan Parameter Subduksi Sumber Gempa Pulau Jawa*. Teknisia, xxv (2).
- Faisol, A. (2020). *Pemetaan Potensi Bahaya Gempa Bumi di Provinsi Papua Barat Menggunakan Metode Percepatan Tanah Maksimum dan Point Source Analysis*. Jurnal Natural, 16(1), 14–24. <https://doi.org/10.30862/jn.v16i1.47>
- Hutapea, B. M., & Mangape, I. (2009). *Analisis Hazard Gempa dan Usulan Ground Motion pada Batuan Dasar untuk Kota Jakarta*. Jurnal Teknik Sipil, 16(3), <https://doi.org/10.5614/jts.2009.16.3.2>
- Irsyam, M., Sipil, T., & Ketua, I. T. B. (2010). *Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*.
- Lewerissa, R., & Manobi, T. (2013). *Pemetaan Daerah Rawan Gempabumi di Wilayah Sorong Provinsi Papua Barat berdasarkan Metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*. Prosiding : Seminar Nasional Fisika.
- Makrup, L., Hariyanto, A., & Winarno, S. (2018). *Seismic hazard map for Papua Island*. International Review of Civil Engineering, 9(2), 57–62. <https://doi.org/10.15866/irece.v9i2.14090>

- Partono, W., Irsyam, M., Prabandiyani, S., & Wardani, R. (2017). *Development of site class and site coefficient maps of Semarang , Indonesia using field shear wave velocity data*. Jurnal, MATEC Web of Conferences, 101. 05010, 1–5.
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar.
- Pawirodikromo, W., Makrup, L., Teguh, M., Suryo, B., & Hartantyo, E. (2018). *Comparison of 10 % and 2 / 3 of 2 % PE for 50 years Seismic Hazard at Yogyakarta Special Province (YSP), Jurnal, Indonesia Constructed From The Probabilistic Seismic Hazard Analysis*. 9(9), 1593–1610.
- Pawirodikromo, W., Makrup, L., Teguh, M., Suryo, B., & Hartantyo, E. (2019). *Site Coefficient of Short Fa and Long period Fv Maps Constructed from the Probabilistic Seismic Hazard Analysis in Yogyakarta Special Province*. Jurnal, MATEC Web of Conferences, 280, 01001. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201928001001>.
- Permana, H., & Gaol, K. L. (2018). *Sesar Geser Sorong Segmen Sorong-Kofiau, Papua Barat, Indonesia (Bukti Dari Data Batimetri Dan SBP)*. Jurnal Geologi Kelautan. 16(1), 37–50.
- Purbandini, P., Santosa, B. J., & Sunardi, B. (2017). *Analisis Bahaya Kegempaan di Wilayah Malang Menggunakan Pendekatan Probabilistik*. Jurnal Sains Dan Seni. 6(2).
- PuSGeN. (2017). *Buku Peta Gempa 2017*.
- Saputra, E., & Makrup, L. (2021). *Deagregasi Hazard Dan Rekomendasi Ground Motion Sintetik Di Provinsi Riau Deagregasi Hazard Dan Rekomendasi Ground Motion Sintetik Di Provinsi Riau*. Jurnal. <https://doi.org/10.30651/ag.v6i1.8323>.
- Saputra, E., Makrup, L., Nugraheni, F., & Pawirodikromo, W. (2020). *Analisis Percepatan Tanah Permukaan Di Wilayah Riau Dengan Metode PSHA*. Teknisia, XXV(1), 42–49. <https://doi.org/10.20885/teknisia.vol25.iss1.art5>.
- Saputro, I. T., & Aris, M. (2018). *Analisis Percepatan Tanah Puncak Akibat Gempa Pada Kota Sorong Sebagai Upaya Mitigasi Bencana*. Jurnal Teknik Sipil : Rancang Bangun, 4(2), 14. <https://doi.org/10.33506/rb.v4i2.168>.

- Sina, D. (2002). *Evaluasi Bahaya Gempa (Seismic Hazard) Dengan Menggunakan Metode Point Source Dan Penentuan*. Jurnal, 41–51.
- SNI 1726. (2019). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Sunardi, B. (2013). *Peta deagregasi hazard gempa wilayah Jawa dan rekomendasi ground motion di empat daerah*. Tesis, Universitas Islam Indonesia.
- Sunardi, B. (2016). *Percepatan Tanah Sintetis Kota Yogyakarta Berdasarkan Deagregasi Bahaya Gempa*. Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, 6(3).
- Sungkowo, A. (2016). *Studi Kerentanan Seismik dan Karakteristik Dinamik Tanah di Kota Yogyakarta dari Data Mikrotremor*. Tesis, Universitas Islam Indonesia.

LAMPIRAN

Input Data Source

51

0.0 101 3 8 0 0.50 0.50 0.00 5.000 8.200 0.000 0.00 1.00 0.00 3.570
0.000 0.000 7.079 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 102 3 9 0 0.50 0.50 0.00 5.000 8.200 0.000 0.00 1.00 0.00 2.856
0.000 0.000 1.778 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 101 3 8 0 0.50 0.50 0.00 5.000 8.100 0.000 0.00 1.00 0.00 3.086
0.000 0.000 4.266 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 102 3 9 0 0.50 0.50 0.00 5.000 8.100 0.000 0.00 1.00 0.00 3.478
0.000 0.000 3.981 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 107 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 8.100 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 1.656 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.600 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 1.009 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.600 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.673 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.400 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.619 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.200 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.713 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.900 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 1.143 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 6.600 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.556 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.200 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.713 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.100 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.274 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.700 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.351 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.300 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.089 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 107 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 6.700 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.070 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 108 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.100 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.274 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 6.700 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.232 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 108 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 6.700 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.232 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 108 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.600 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.673 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 107 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 8.000 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.794 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 6.800 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.048 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.400 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.217 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 107 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.004 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 107 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.004 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 107 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.004 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 107 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 8.200 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 1.294 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 107 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.400 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.619 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.600 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.336 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 6.800 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.242 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.300 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.297 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.100 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.274 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 6.800 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.048 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.400 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.310 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.200 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.285 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 106 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.000 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.131 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 106 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 6.800 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.242 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 106 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 6.400 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.102 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 106 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.043 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 106 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 6.900 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.050 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 106 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 6.600 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.044 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 106 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 6.900 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.252 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.484 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.800 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.548 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.300 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.446 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 106 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.300 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.297 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 106 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 6.300 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.137 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 6.400 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.020 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 2.260 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 107 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.300 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.030 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 107 1 10 11 0.33 0.33 0.34 5.000 7.800 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.183 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

Megathrust Filipina

7 5.00 50.00 12.00

126.78918 -1.12190 127.95881 -1.13985

126.84212 -0.31615 127.90707 0.11337

126.78480 0.04098 127.92802 0.57989

126.77521 0.51398 128.25093 1.32325

126.88555 0.96926 128.53832 1.87208

127.72401 2.64810 128.70829 2.19378

127.90755 2.81482 128.82529 2.41904

Benioff Filipina

7 50.00 250.00 30.00

127.95881 -1.13985 129.93243 -1.03520

127.90707 0.11337 130.05677 -0.72256

127.92802 0.57989 130.19404 -0.37768

128.25093 1.32325 130.35763 0.03297

128.53832 1.87208 130.41447 0.17214

128.70829 2.19378 130.74103 1.18665

128.82529 2.41904 130.95034 1.81561

Megathrust Sorong-Manokwari

10 5.00 50.00 30.00

130.90785 0.14950 130.71769 -0.44194

131.63596 -0.06449 131.57882 -0.70813

132.03022 -0.14162 132.21852 -0.69314

132.30767 -0.15439 132.63244 -0.64480

132.61015 -0.05968 132.65060 -0.64893

132.89270 -0.04753 132.76158 -0.67463
133.11216 -0.10904 133.06024 -0.74321
133.65321 -0.40511 133.42275 -0.93080
134.36993 -0.80689 133.97171 -1.21612
134.56560 -0.96130 134.33173 -1.39956

Benioff Sorong-Manokwari

10 50.00 200.00 45.00
130.71769 -0.44194 130.11266 -1.62643
131.57882 -0.70813 130.53714 -1.77083
132.21852 -0.69314 130.99879 -1.92667
132.63244 -0.64480 131.61506 -2.13432
132.65060 -0.64893 131.82766 -2.20562
132.76158 -0.67463 132.13518 -2.30965
133.06024 -0.74321 132.46310 -2.42159
133.42275 -0.93080 132.91851 -2.57538
133.97171 -1.21612 133.31520 -2.70850
134.33173 -1.39956 133.65078 -2.82218

North Sula

3 3.00 18.00 45.00
123.91805 -1.29334 123.91805 -1.29334
125.34472 -1.51212 125.34472 -1.51212
127.42643 -1.92763 127.42643 -1.92763

Sula Fault-3 Mangole

2 3.00 18.00 90.00
125.68338 -1.98508 125.68338 -1.98508
127.41806 -1.97395 127.41806 -1.97395

Sorong Fault-1 Obi

2 3.00 18.00 90.00

127.56137 -1.89219 127.56137 -1.89219

128.76824 -1.87648 128.76824 -1.87648

Sorong Fault-2 Obi-Kofiau

2 3.00 18.00 90.00

128.25881 -1.77972 128.25881 -1.77972

129.89195 -1.35553 129.89195 -1.35553

Sorong Fault-3 North Kofiau

2 3.00 18.00 90.00

129.55093 -1.13074 129.55093 -1.13074

130.17805 -1.13998 130.17805 -1.13998

Sorong Fault-4 South Halmahera

3 3.00 18.00 60.00

126.94882 -0.72792 126.94882 -0.72792

128.13822 -1.12611 128.13822 -1.12611

129.14056 -1.24982 129.14056 -1.24982

Sorong Fault-5 West Salawati

2 3.00 18.00 90.00

130.13153 -1.08811 130.13153 -1.08811

130.51588 -1.00943 130.51588 -1.00943

Sorong Fault-6 Sagewin

2 3.00 18.00 90.00

130.31047 -0.96013 130.31047 -0.96013

131.38106 -0.68660 131.38106 -0.68660

Sorong Fault-7 Dampier

2 3.00 18.00 90.00

130.78763 -0.65083 130.78763 -0.65083

131.77696 -0.62317 131.77696 -0.62317

Sorong Fault-8 Mega-Omnowi

3 3.00 18.00 90.00

131.78518 -0.68434 131.78518 -0.68434

132.67120 -0.77619 132.67120 -0.77619

133.49721 -0.80355 133.49721 -0.80355

Sorong Fault-9 Klararea

2 3.00 18.00 90.00

131.73545 -0.92973 131.73545 -0.92973

132.52961 -0.89291 132.52961 -0.89291

Sorong Fault-10 Anita

2 3.00 18.00 45.00

133.05532 -0.80334 133.05532 -0.80334

133.38088 -0.88400 133.38088 -0.88400

Sorong Fault-11 Warjori

4 3.00 18.00 45.00

133.50219 -0.81819 133.50219 -0.81819

133.63659 -0.83824 133.63659 -0.83824

133.77748 -0.90582 133.77748 -0.90582

133.84202 -0.97874 133.84202 -0.97874

Sorong Fault-12 Meuni

2 3.00 18.00 90.00

133.84996 -0.98962 133.84996 -0.98962

134.05525 -1.00665 134.05525 -1.00665

Sorong Fault-13 Meuni Thrust

4 3.00 18.00 45.00

134.06879 -1.01335 134.06879 -1.01335

134.13715 -1.04065 134.13715 -1.04065

134.20059 -1.09076 134.20059 -1.09076

134.21699 -1.14394 134.21699 -1.14394

Manokwari Thrust-West Segmen (North-Waigeo)

2 3.00 18.00 70.00

130.88312 0.19603 130.88312 0.19603

132.06330 -0.13223 132.06330 -0.13223

Manokwari Thrust (Central-East Segmen)

3 3.00 18.00 60.00

132.15309 -0.09130 132.15309 -0.09130

133.33857 -0.20175 133.33857 -0.20175

134.59873 -0.94961 134.59873 -0.94961

Koor Fault-1 Dampier

2 3.00 18.00 90.00

131.43757 -0.46519 131.43757 -0.46519

132.01502 -0.45425 132.01502 -0.45425

Koor Fault-2 Koor

2 3.00 18.00 90.00

132.04121 -0.48988 132.04121 -0.48988

132.96822 -0.45868 132.96822 -0.45868

Teminabuan Thrust-1 South

4 3.00 18.00 45.00

131.48952 -1.16892 131.48952 -1.16892

131.99972 -1.44007 131.99972 -1.44007

132.67291 -1.95653 132.67291 -1.95653

133.33733 -2.15987 133.33733 -2.15987

Teminabuan Thrust-2 Central

2 3.00 18.00 45.00

132.21979 -1.44565 132.21979 -1.44565

133.63662 -2.18816 133.63662 -2.18816

Teminabuan Thrust-3 North

2 3.00 18.00 45.00

133.20961 -1.73565 133.20961 -1.73565

133.53967 -1.93537 133.53967 -1.93537

Seram FTB-1 West

4 3.00 18.00 45.00

128.36556 -2.39594 128.36556 -2.39594

130.31556 -2.61005 130.31556 -2.61005

131.53887 -3.08574 131.53887 -3.08574

132.35757 -3.94874 132.35757 -3.94874

Seram FTB-2

3 3.00 18.00 60.00

132.38804 -3.94903 132.38804 -3.94903

132.97787 -4.39912 132.97787 -4.39912

133.02664 -5.12764 133.02664 -5.12764

Seram Strike Slip-East Gorom

3 3.00 18.00 90.00

131.71228 -3.79442 131.71228 -3.79442

132.24396 -4.11394 132.24396 -4.11394

132.90468 -4.37519 132.90468 -4.37519

Seram Strike Slip-West Gorom

2 3.00 18.00 90.00

131.44437 -3.57862 131.44437 -3.57862

131.71067 -3.68372 131.71067 -3.68372

Seram Strike Slip-North Hote

2 3.00 18.00 90.00

130.03665 -2.83774 130.03665 -2.83774

130.79020 -2.85273 130.79020 -2.85273

Seram Strike Slip-East Bula

2 3.00 18.00 90.00

130.78880 -3.06978 130.78880 -3.06978

131.24586 -3.07056 131.24586 -3.07056

Seram Strike Slip-North Kobi

2 3.00 18.00 90.00

129.83182 -2.78764 129.83182 -2.78764

130.10058 -2.78612 130.10058 -2.78612

Seram Strike Slip-North Wahai

3 3.00 18.00 90.00

129.16181 -2.59095 129.16181 -2.59095

129.50527 -2.68760 129.50527 -2.68760

130.03541 -2.67520 130.03541 -2.67520

Ransiki

2 3.00 18.00 90.00

133.93791 -1.22808 133.93791 -1.22808

134.63281 -2.31292 134.63281 -2.31292

Wandamen-4 Kaimana

3 3.00 18.00 75.00

133.77764 -3.69281 133.77764 -3.69281

133.85988 -3.13757 133.85988 -3.13757

134.11836 -2.68193 134.11836 -2.68193

Wandamen-3 Rumberpon-Kaimana

2 3.00 18.00 75.00

134.11739 -2.63176 134.11739 -2.63176

134.11202 -1.89921 134.11202 -1.89921

Wandamen-2 Rumberpon

2 3.00 18.00 75.00

134.16853 -2.03737 134.16853 -2.03737

134.21995 -1.69317 134.21995 -1.69317

Wandamen-Fau(East Kaimana)

3 3.00 18.00 80.00

133.91372 -3.53203 133.91372 -3.53203

134.09743 -3.36438 134.09743 -3.36438

134.26243 -3.29092 134.26243 -3.29092

Wandamen-Triton South

3 3.00 18.00 80.00

133.87875 -4.07163 133.87875 -4.07163

134.22790 -3.80948 134.22790 -3.80948

134.60774 -3.61557 134.60774 -3.61557

Wandamen-Triton North

3 3.00 18.00 80.00

133.82233 -3.97780 133.82233 -3.97780

134.00596 -3.80125 134.00596 -3.80125

134.25720 -3.67165 134.25720 -3.67165

Wandamen-1 Wandamen

4 3.00 18.00 60.00

134.42811 -3.36908 134.42811 -3.36908

134.50976 -3.21965 134.50976 -3.21965

134.55193 -2.94459 134.55193 -2.94459

134.45280 -2.55536 134.45280 -2.55536

Tarera-Aiduna (1 North)

2 3.00 18.00 90.00

134.18832 -4.06111 134.18832 -4.06111

135.21171 -4.03344 135.21171 -4.03344

Tarera-Aiduna (2 Central)

3 3.00 18.00 90.00

133.73294 -4.34933 133.73294 -4.34933

134.81876 -4.27206 134.81876 -4.27206

135.83100 -4.04097 135.83100 -4.04097

Tarera-Aiduna (3 South)

2 3.00 18.00 90.00

133.23693 -4.58137 133.23693 -4.58137

134.20543 -4.60426 134.20543 -4.60426

Aru Trough-1 West Aru

3 3.00 18.00 75.00

133.12095 -4.20700 133.12095 -4.20700

133.22930 -4.96540 133.22930 -4.96540

133.11971 -4.20521 133.11971 -4.20521

Aru Trough-Central North

2 3.00 18.00 75.00

133.88439 -4.59397 133.88439 -4.59397

133.95172 -4.34965 133.95172 -4.34965

Sorendidori

2 3.00 18.00 90.00

135.62289 -0.91602 135.62289 -0.91602

135.76664 -0.70091 135.76664 -0.70091

Yapen Fault-(Ransiki-Num)

2 3.00 18.00 90.00

134.20328 -1.51862 134.20328 -1.51862

136.40634 -1.66696 136.40634 -1.66696

Dampier

2 3.00 18.00 35.00

131.25633 -0.56765 131.25633 -0.56765

131.74603 -0.29467 131.74603 -0.29467

Tanimbar-Kai FTB (1)

4 3.00 18.00 45.00

133.01067 -4.87985 133.01067 -4.87985

133.02664 -5.12764 133.02664 -5.12764

132.74287 -6.35720 132.74287 -6.35720

132.64761 -6.55937 132.64761 -6.55937

Data Percepatan Tanah di Batuan Dasar

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T=0.2 detik		Respon Spektra T=1 detik	
		2%	10%	2%	10%	2%	10%
131.2883	-0.8819	0.8313	0.5629	1.9736	1.6175	0.6691	0.4552
131.2952	-0.8700	0.8628	0.5871	1.9853	1.6693	0.6793	0.4664
131.2979	-0.8822	0.8194	0.5537	1.9689	1.5955	0.6654	0.451
131.3053	-0.8753	0.8350	0.5655	1.9744	1.6202	0.6704	0.4564
131.3115	-0.8815	0.8055	0.5429	1.9632	1.569	0.6613	0.4463
131.3341	-0.8719	0.8082	0.5447	1.963	1.5678	0.6622	0.4471
131.3524	-0.8881	0.7149	0.4934	1.9285	1.4047	0.6361	0.4184
131.3534	-0.8997	0.6931	0.4824	1.9079	1.3053	0.6208	0.4018
131.3243	-0.9033	0.6986	0.4891	1.9223	1.3757	0.6293	0.4114
131.3070	-0.9126	0.6959	0.4859	1.9175	1.3527	0.6242	0.4062
131.3092	-0.9639	0.6427	0.4238	1.8008	0.9781	0.5393	0.3762
131.3535	-0.9769	0.6046	0.3945	1.7096	0.9359	0.4982	0.3623
131.3931	-0.9583	0.6137	0.3974	1.7224	0.9415	0.5091	0.3665
131.4350	-0.9696	0.6124	0.396	1.7182	0.937	0.5162	0.368
131.4022	-1.0086	0.5202	0.3699	1.5117	0.8509	0.4799	0.8509
131.3716	-1.0138	0.5255	0.3712	1.5302	0.8584	0.4791	0.3381
131.3561	-0.9998	0.5637	0.3822	1.6184	0.8958	0.4874	0.3488
131.3215	-1.0014	0.5799	0.387	1.6613	0.9146	0.4901	0.353
131.3233	-1.0323	0.5149	0.3683	1.5205	0.8546	0.4742	0.3332
131.3808	-1.0414	0.4895	0.3518	1.3722	0.7945	0.4653	0.3205
131.4145	-1.0339	0.5052	0.3639	1.4851	0.834	0.4769	0.3346
131.4551	-1.0646	0.4835	0.3402	1.3193	0.7563	0.4616	0.3135
131.4915	-1.0688	0.4759	0.3308	1.2354	0.7214	0.4587	0.3085
131.4312	-1.0892	0.4658	0.3202	1.1454	0.6983	0.4482	0.2995
131.2431	-0.8344	0.9776	0.6806	2.589	1.8797	0.8409	0.5615
131.4151	-0.7640	0.9834	0.6835	2.5592	1.8662	0.8352	0.5534
131.3308	-0.8156	0.9598	0.6645	2.4256	1.8338	0.7881	0.5214
131.4023	-0.8217	0.8821	0.6008	1.9884	1.6798	0.6853	0.4722
131.5417	-0.7408	0.9455	0.6505	2.1946	1.7718	0.7384	0.4959
131.6437	-0.8030	0.8747	0.5832	1.9818	1.6086	0.6919	0.4714
131.8602	-0.9981	0.7652	0.4821	1.9401	1.2888	0.6439	0.3937
131.8826	-0.8076	0.8878	0.5848	1.9858	1.5857	0.6953	0.4672
131.9436	-1.0661	0.6241	0.391	1.744	0.9239	0.524	0.3539
132.2998	-0.8846	0.9969	0.6703	2.6691	1.8118	0.856	0.5037
132.6506	-0.9835	0.6273	0.392	1.7418	0.9234	0.5494	0.3655

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T=0.2 detik		Respon Spektra T=1 detik	
		2%	10%	2%	10%	2%	10%
132.6196	-1.1985	0.3957	0.2797	0.9374	0.6018	0.4102	0.2887
132.6337	-1.3003	0.3537	0.2469	0.7919	0.488	0.3886	0.2756
132.4662	-1.2603	0.3842	0.2678	0.9102	0.5739	0.391	0.2795
132.1949	-1.2367	0.3930	0.2759	0.9372	0.605	0.3933	0.2806
132.0564	-1.3381	0.3468	0.2349	0.8026	0.4897	0.3697	0.2602
130.8577	-0.9282	0.9832	0.685	2.6379	1.8921	0.848	0.5622
130.6380	-0.9338	1.5724	0.8985	2.9953	2.134	0.9873	0.6764
130.6807	-1.0226	0.9066	0.6321	2.1382	1.8033	0.6889	0.48
130.7375	-0.9936	1.2406	0.7798	2.8455	1.9556	0.9269	0.6232
130.8691	-1.0456	0.6738	0.4602	1.8884	1.2143	0.5673	0.3853
130.7356	-1.1843	0.5415	0.3823	1.6649	0.9297	0.4476	0.3159
131.0507	-1.2374	0.3902	0.2839	0.9472	0.6465	0.3834	0.2781
130.8480	-1.3162	0.3833	0.2814	0.9356	0.6447	0.3655	0.268
131.6370	-1.1355	0.4858	0.3311	1.3783	0.75	0.4608	0.3022
132.6139	-1.3445	0.3302	0.1964	0.8763	0.4432	0.3363	0.2233
131.0441	-0.9328	0.8689	0.5924	1.9931	1.705	0.6814	0.4691
131.0153	-0.5981	1.3503	0.8068	2.8682	1.9563	0.9344	0.6281
132.3208	-0.6359	1.0421	0.682	2.3695	1.7676	0.7796	0.4951
132.7562	-0.6909	0.9325	0.6152	1.9996	1.6238	0.6955	0.4613
132.6902	-1.2151	0.3891	0.2762	0.9029	0.5697	0.413	0.2885
130.3354	-0.7637	0.6944	0.4895	1.9349	1.4682	0.6137	0.3992
130.3515	-1.3058	0.6627	0.4639	1.8901	1.291	0.4967	0.3715
130.0219	-0.5809	0.4231	0.2988	0.9805	0.6811	0.4661	0.3136
130.0165	-0.8225	0.7293	0.5111	1.9545	1.5735	0.6274	0.4217
130.0384	-1.1905	1.7659	0.9745	0.9555	2.5822	1.3561	0.7919
132.4165	-1.4600	0.3200	0.1992	0.7558	0.4544	0.3482	0.2426
132.1240	-1.4533	0.3541	0.2112	0.8564	0.4743	0.3482	0.2397
131.7576	-1.4869	0.2827	0.1884	0.6442	0.3965	0.3202	0.2168
131.4113	-1.4970	0.2837	0.1916	0.6479	0.4124	0.3216	0.2239
130.9776	-1.5003	0.2856	0.195	0.6614	0.4445	0.2993	0.2125
130.6683	-1.4466	0.3616	0.2699	0.8865	0.6147	0.3264	0.2453
130.3086	-1.4298	0.4940	0.3668	1.5509	0.8891	0.3993	0.2946
132.4542	-1.7348	0.2964	0.1782	0.6993	0.384	0.2952	0.1952
132.2098	-1.7293	0.2624	0.162	0.6018	0.3518	0.2875	0.1908
131.9955	-1.7458	0.2021	0.1349	0.4763	0.2993	0.2763	0.1811
131.6797	-1.7486	0.1964	0.1291	0.4547	0.2963	0.2749	0.1811
131.3309	-1.7705	0.2054	0.1445	0.4835	0.3231	0.2726	0.1817
131.1156	-1.7431	0.2179	0.1522	0.4938	0.3397	0.2396	0.1642

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T=0.2 detik		Respon Spektra T=1 detik	
		2%	10%	2%	10%	2%	10%
130.7229	-1.7321	0.2687	0.1846	0.6191	0.3965	0.2643	0.1816
130.1104	-1.7376	0.3813	0.2756	0.9313	0.629	0.327	0.2398
131.4287	-1.2900	0.3455	0.2481	0.8027	0.5117	0.3757	0.2661
131.6265	-1.3230	0.3643	0.2515	0.8682	0.5335	0.3762	0.2649
132.4147	-2.0780	0.1889	0.1124	0.423	0.2659	0.2443	0.1584
132.1264	-2.1191	0.1872	0.1102	0.4094	0.2629	0.1987	0.1255
131.8929	-2.1191	0.2068	0.1234	0.4788	0.2857	0.2218	0.1332
131.5056	-2.1274	0.2198	0.1293	0.4923	0.2977	0.2312	0.1475
131.4122	-2.0725	0.2189	0.13	0.4921	0.2992	0.2331	0.1509
131.0057	-2.0560	0.2660	0.1674	0.6053	0.3647	0.26	0.1711
130.6185	-1.9956	0.2849	0.1854	0.6597	0.3977	0.2749	0.1831
130.0005	-2.0286	0.3591	0.2415	0.866	0.5277	0.3032	0.2073
132.4264	-2.2780	0.1656	0.0956	0.3656	0.2215	0.1901	0.1146
131.9786	-2.2939	0.2222	0.1255	0.4926	0.289	0.2257	0.1334
131.3869	-2.2939	0.2809	0.1754	0.6447	0.3777	0.2654	0.1708
131.1150	-2.3139	0.3193	0.1965	0.7485	0.4487	0.2865	0.1872
130.8551	-2.3099	0.3691	0.235	0.8833	0.5037	0.2992	0.197
130.5313	-2.3099	0.4206	0.2756	0.9872	0.6266	0.3568	0.2363
130.1555	-2.3139	0.6240	0.3722	1.7473	0.8991	0.483	0.2979
129.8356	-2.2859	0.5290	0.3363	1.5519	0.7959	0.4262	0.285
129.4041	-2.2201	0.4976	0.3181	1.4704	0.7445	0.408	0.28
129.1465	-2.3739	0.8096	0.4871	1.9746	1.4326	0.6563	0.392
129.3897	-2.0632	0.4152	0.283	0.9853	0.6471	0.3623	0.2538
129.6441	-1.9558	0.3838	0.2688	0.9321	0.6056	0.3701	0.2562
129.8364	-1.7128	0.4464	0.2972	1.1057	0.6909	0.3889	0.2777
129.5084	-1.5772	0.9968	0.6788	2.7322	1.8797	0.8833	0.5455
129.2992	-1.5659	1.1604	0.7076	2.8017	1.9106	0.9136	0.5788
129.5480	-1.4924	1.2818	0.7522	2.8596	1.9321	0.9372	0.5997
129.2822	-1.4076	0.9289	0.6224	2.299	1.7483	0.7418	0.4811
129.6385	-1.3115	0.9289	0.6686	2.5259	1.8599	0.8103	0.5346
129.9381	-1.1702	1.8604	1.1623	1.1	2.7986	1.6014	0.8879
129.5763	-1.0967	1.7059	0.9434	0.9555	2.3995	1.1994	0.699
129.2971	-1.0298	0.5588	0.3722	1.6508	0.8942	0.4608	0.3045
129.1839	-0.9505	0.4783	0.3106	1.3476	0.7217	0.411	0.2838
129.4707	-0.8713	0.6403	0.4195	1.8224	0.9881	0.4961	0.3585
129.7613	-0.7883	0.5090	0.368	1.5776	0.8827	0.4447	0.3006
129.9462	-0.7279	0.5833	0.3935	1.7305	0.955	0.4825	0.3543
129.6896	-0.7090	0.4262	0.2962	0.9936	0.6861	0.3792	0.2757

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T=0.2 detik		Respon Spektra T=1 detik	
		2%	10%	2%	10%	2%	10%
129.2896	-0.6977	0.4437	0.2988	1.0867	0.6946	0.3773	0.2741
129.1738	-0.4366	0.2933	0.197	0.6835	0.4549	0.2848	0.1917
129.4879	-0.3581	0.2804	0.1911	0.6331	0.4042	0.3155	0.1992
129.5895	-0.2657	0.2801	0.1924	0.6122	0.3971	0.2859	0.1918
129.5063	-0.6537	0.3825	0.2764	0.9285	0.6263	0.3866	0.2697
129.6357	-0.9493	0.3842	0.5384	1.9704	1.6025	0.6475	0.4275
129.7465	-0.4504	0.4629	0.2613	0.8258	0.5623	0.3515	0.249
129.9729	-0.3765	0.3842	0.282	0.7985	0.5469	0.3529	0.2465
130.2454	-0.4089	0.4629	0.3235	0.8678	0.5846	0.5627	0.3633
130.4764	-0.3858	0.7485	0.4864	1.7881	0.9626	0.6286	0.3957
130.6796	-0.5428	0.7485	0.5658	1.977	1.596	0.6718	0.4469
130.7951	-0.4042	0.8502	0.5249	1.8457	0.9893	0.642	0.4005
130.9522	-0.5243	0.9287	0.6332	1.9944	1.6972	0.6961	0.483
131.3335	-0.4735	1.4748	0.8039	2.5958	1.85	0.8587	0.5676
131.5111	-0.3581	1.8262	0.9695	2.9025	1.9392	1.0409	0.6833
131.6358	-0.3396	1.8290	0.9736	2.9074	1.9315	0.9919	0.6694
131.9129	-0.4828	1.7997	0.9551	2.9288	1.9486	0.9343	0.6167
132.1393	-0.3719	1.7783	0.9375	2.7986	1.8857	0.9337	0.6084
132.3933	-0.2380	1.4529	0.7687	2.4693	1.7611	0.8073	0.4967
132.5827	-0.4089	1.7893	0.9421	2.9293	1.9503	0.8959	0.5775
132.5319	0.2009	0.5743	0.3706	1.3044	0.6879	0.5596	0.3595
132.2732	0.0715	0.8861	0.5678	1.823	0.9227	0.8113	0.4882
131.9083	0.0207	1.8709	1.1168	2.522	1.8193	1.8004	0.9454
131.7374	0.1454	1.6655	0.9076	1.9575	1.4744	1.5355	0.8068
131.5111	0.0022	2.6850	1.8646	2.6667	2.4615	2.6686	1.7212
131.2709	-0.1179	1.7668	0.9573	2.3988	1.7606	1.4651	0.7797
131.1600	-0.0162	1.8516	1.0462	2.4976	1.817	1.7404	0.9158
130.9568	-0.1086	1.7599	0.9271	2.62	1.7605	0.9738	0.636
130.8136	0.0346	1.6003	0.8588	1.9887	1.5438	1.1559	0.666
130.6334	0.0715	1.5998	0.8698	1.9426	1.3865	1.423	0.737
130.4117	0.1824	0.5100	0.3372	0.764	0.4764	0.5639	0.3466
130.6406	-0.0587	0.9832	0.6655	1.813	0.9626	0.924	0.5813
130.3687	0.0500	0.4807	0.3117	0.7726	0.4832	0.5138	0.3274
130.1318	-0.0743	0.3169	0.2123	0.5785	0.3765	0.3961	0.2678
129.8754	0.0966	0.3368	0.2397	0.678	0.4537	0.375	0.2505
129.7278	-0.0898	0.2703	0.1871	0.4954	0.3597	0.2944	0.1936
129.4987	0.0306	0.2326	0.166	0.4797	0.3339	0.2947	0.191
129.4054	0.1238	0.1902	0.1248	0.3948	0.2825	0.2715	0.1726

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T=0.2 detik		Respon Spektra T=1 detik	
		2%	10%	2%	10%	2%	10%
129.3394	-0.0238	0.1917	0.1256	0.4131	0.2877	0.2643	0.1684
129.2423	-0.1636	0.1999	0.1435	0.4774	0.3174	0.2542	0.1675
129.3764	0.1887	0.1813	0.1167	0.3765	0.2664	0.2628	0.1641
129.6840	0.1340	0.2659	0.184	0.4783	0.3385	0.2894	0.1879
129.4570	-0.1810	0.2525	0.1771	0.5397	0.3719	0.2935	0.1924
129.7870	-0.2500	0.4722	0.2316	0.6852	0.4722	0.3539	0.2392
130.3430	-0.1790	0.6781	0.4601	0.9623	0.6396	0.6979	0.4614
130.2410	0.1790	0.3847	0.2619	0.6135	0.3832	0.457	0.2887
130.2040	-0.2900	0.5298	0.3697	0.8292	0.5368	0.6337	0.3923
130.7820	-0.1640	1.5352	0.7713	2.292	1.6028	0.851	0.524
131.0120	-0.3650	1.3954	0.724	2.1193	1.6181	0.7449	0.4843
131.0850	0.1670	2.5509	1.8118	0.3666	2.3235	2.5317	1.6448
131.5400	0.1490	0.6748	0.4276	0.9706	0.6286	0.665	0.3972
131.7900	-0.1530	1.9194	1.3515	2.751	1.9059	1.8595	0.9892
129.1690	0.1650	0.1620	0.0994	0.35	0.2377	0.1982	0.1262
129.1660	0.0190	0.1830	0.1163	0.3914	0.2738	0.2168	0.1388
129.9860	-0.1460	0.3937	0.2864	0.7333	0.4978	0.3643	0.2446
130.1060	0.1420	0.4190	0.2936	0.7286	0.4926	0.3958	0.2667
130.6910	-0.2660	1.1943	0.6729	1.9738	1.3859	0.6872	0.4477
130.7770	0.1940	1.5366	0.8077	1.952	1.3886	1.2664	0.6638
131.0650	-0.2030	1.7817	0.9376	2.7321	1.8328	0.9736	0.6495
131.3140	0.0820	2.9361	1.9555	1.9	2.5947	2.8461	1.7945
131.5220	-0.2180	1.8071	0.9741	2.6587	1.8454	1.326	0.7235
131.6750	-0.0490	2.6184	1.8399	0.41	2.395	2.591	1.6842
132.0270	0.1790	0.9628	0.647	1.7723	0.9433	0.9332	0.5897
132.2870	0.2050	0.6795	0.4476	1.3424	0.6994	0.6773	0.425
132.1500	-0.0460	1.5864	0.8507	2.3774	1.7226	1.3379	0.6884
132.0130	-0.1980	1.8885	1.1659	2.7896	1.9092	1.7715	0.9099
132.2360	-0.1090	1.5529	0.85	2.8511	1.8891	1.0866	0.6587
132.5040	0.0370	0.7878	0.4897	1.8887	1.0165	0.6679	0.4191
132.6330	-0.1230	1.4217	0.7744	2.9025	1.922	0.9245	0.5538
132.7210	0.1970	0.4996	0.3349	1.2533	0.6775	0.4827	0.3186
130.3370	-0.9700	1.8353	1.0572	2.7	2.7672	1.4158	0.8226
131.0420	-0.6610	1.6826	0.9339	2.3	2.3198	1.09	0.6936
132.7130	-2.3520	0.1469	0.093	0.3321	0.1994	0.2279	0.1475
131.1420	-0.4930	0.9899	0.677	2.1137	1.7457	0.7524	0.4993
131.0770	-0.5360	0.9813	0.6795	2.3983	1.828	0.8006	0.5361
131.5530	0.2040	1.6430	0.8994	1.948	1.4315	1.5148	0.801

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T=0.2 detik		Respon Spektra T=1 detik	
		2%	10%	2%	10%	2%	10%
129.1320	0.5050	0.1226	0.0878	0.2729	0.1833	0.1636	0.0971
129.2810	0.3190	0.1496	0.0976	0.314	0.214	0.2235	0.1324
129.3890	0.4560	0.1543	0.0982	0.2997	0.2002	0.245	0.1438
129.5320	0.3560	0.1933	0.1268	0.3912	0.2771	0.2896	0.1823
129.6690	0.4680	0.2391	0.1665	0.4686	0.3098	0.3306	0.1982
129.8520	0.3360	0.2576	0.1767	0.4019	0.2883	0.3144	0.1963
130.1000	0.5250	0.3704	0.2665	0.6976	0.4791	0.4222	0.2791
130.2340	0.3880	0.3597	0.2361	0.4992	0.3289	0.4364	0.2802
130.3740	0.5450	0.3881	0.2615	0.5415	0.342	0.467	0.2918
130.5310	0.4160	0.5801	0.3626	0.7644	0.4726	0.611	0.368
130.7060	0.5020	1.2162	0.7178	1.8015	0.9647	1.0239	0.6627
130.9250	0.3880	1.1471	0.6861	1.7902	0.9526	0.9867	0.6294
131.2400	0.6020	0.6721	0.447	0.9065	0.5736	0.6933	0.4513
131.4390	0.4190	0.9098	0.6116	1.3979	0.7638	0.9082	0.5766
131.3080	0.2510	1.7160	0.9319	1.9745	1.5501	1.5984	0.8388
131.6020	0.5680	0.6433	0.421	0.8726	0.5476	0.6831	0.4429
131.7790	0.4110	0.7527	0.498	1.2026	0.689	0.7969	0.4919
131.9560	0.5590	0.5239	0.3641	0.8244	0.4947	0.6265	0.3877
132.1330	0.3480	0.6548	0.4227	0.9702	0.6323	0.6745	0.4243
132.3130	0.5650	0.3950	0.2796	0.6745	0.4159	0.4879	0.3161
132.4440	0.3760	0.4646	0.3016	0.881	0.5227	0.5102	0.337
132.5470	0.5360	0.3606	0.2484	0.6765	0.4083	0.4386	0.2877
132.6560	0.3940	0.3912	0.2724	0.838	0.4875	0.4473	0.2919
132.7360	0.5530	0.3035	0.1995	0.6575	0.3897	0.3898	0.2688
129.1690	1.1050	0.1271	0.0891	0.2824	0.186	0.2284	0.1199
129.3260	1.0220	0.0999	0.0686	0.1978	0.1281	0.119	0.0618
129.5120	1.1020	0.1130	0.075	0.2407	0.156	0.1913	0.1023
129.7780	1.0160	0.1753	0.1097	0.3315	0.2205	0.283	0.1726
130.0520	1.1020	0.1921	0.1267	0.3449	0.246	0.2829	0.176
130.1770	1.0500	0.2390	0.166	0.4411	0.2945	0.3347	0.205
130.5260	0.9450	0.2909	0.1903	0.3965	0.2639	0.394	0.2636
130.6970	1.0870	0.3945	0.2823	0.5663	0.3563	0.5043	0.337
131.0140	0.8680	0.4492	0.2965	0.6251	0.3833	0.5468	0.3493
131.1340	1.0270	0.3313	0.2279	0.463	0.2927	0.4497	0.2898
131.3390	0.8100	0.4565	0.303	0.6427	0.3941	0.5691	0.3615
131.5510	1.0220	0.3030	0.2163	0.4596	0.2932	0.4461	0.2901
131.6510	0.8390	0.3943	0.2834	0.6361	0.388	0.503	0.3384
131.8310	1.0220	0.2910	0.1962	0.4693	0.2941	0.4182	0.2817

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T=0.2 detik		Respon Spektra T=1 detik	
		2%	10%	2%	10%	2%	10%
132.0100	0.8480	0.3405	0.241	0.5468	0.3445	0.46	0.2952
132.1960	1.0250	0.2547	0.173	0.4001	0.2696	0.3797	0.2565
132.2990	0.8680	0.2842	0.1903	0.4714	0.2949	0.3955	0.271
132.5420	1.1020	0.1891	0.1214	0.3589	0.1801	0.3099	0.1989
132.7130	0.7960	0.2531	0.1671	0.4805	0.2939	0.3531	0.232
129.3040	1.1960	0.1111	0.074	0.2265	0.1516	0.097	0.0578
129.6750	1.1960	0.1223	0.085	0.2636	0.1724	0.2169	0.1223
130.1170	1.1960	0.1877	0.1229	0.3239	0.2301	0.2801	0.1734
130.5510	1.1960	0.3779	0.2704	0.5268	0.3492	0.4883	0.3202
130.9050	1.1960	0.2978	0.2024	0.4336	0.282	0.435	0.2857
131.3680	1.1960	0.2676	0.1799	0.3797	0.2511	0.3893	0.2645
131.7390	1.1960	0.2493	0.1711	0.3906	0.2586	0.3803	0.2575
132.1080	1.1960	0.1976	0.1361	0.3594	0.2254	0.3524	0.2322
132.3760	1.1960	0.1855	0.119	0.3295	0.1986	0.3141	0.1999
132.5930	1.1960	0.1712	0.1038	0.3144	0.1938	0.2909	0.1885
132.7790	1.1960	0.1550	0.096	0.3007	0.1889	0.2745	0.1732
132.5420	0.9060	0.2414	0.1627	0.437	0.2791	0.3602	0.2383
132.5670	0.7090	0.2893	0.1924	0.5539	0.3395	0.3894	0.2654
130.9850	0.6750	0.6281	0.3946	0.8212	0.4945	0.6614	0.4033
130.6940	0.7200	0.6993	0.4827	0.9585	0.6262	0.7614	0.479
130.8000	0.9290	0.4762	0.326	0.6569	0.3994	0.5908	0.3705
130.4260	0.7780	0.3245	0.2063	0.4489	0.286	0.418	0.2746
130.0750	0.8890	0.1966	0.1273	0.2991	0.1954	0.3094	0.1944
129.9350	0.6950	0.2473	0.1724	0.3966	0.2859	0.3006	0.1927
129.7720	0.8720	0.1946	0.1283	0.3892	0.275	0.2937	0.1853
129.5520	0.7030	0.1685	0.1031	0.3123	0.2031	0.2647	0.1559
129.3060	0.8520	0.096	0.063	0.1914	0.117	0.1606	0.0804
129.3010	0.6630	0.1189	0.0815	0.2583	0.1698	0.1913	0.1056
131.5470	-0.8770	0.6844	0.4676	1.8731	1.1058	0.6228	0.3991
131.5390	-0.9070	0.6599	0.4385	1.8155	0.9817	0.5899	0.388
131.6090	-0.9320	0.6400	0.4097	1.7647	0.9513	0.568	0.3776
131.5410	-0.9910	0.5533	0.376	1.5697	0.8646	0.4932	0.3507
131.4720	-0.9260	0.6539	0.4332	1.8078	0.9792	0.575	0.3848
131.5280	-0.8420	0.6906	0.4787	1.8834	1.1843	0.6228	0.4009
131.6080	-0.8790	0.6808	0.461	1.8607	1.03	0.6202	0.3965
131.6460	-0.9720	0.6251	0.3944	1.7313	0.9243	0.5444	0.3655
131.5870	-1.0400	0.6797	0.443	1.8746	1.0227	0.5979	0.3784
131.4340	-0.9090	0.6588	0.4418	1.8197	0.987	0.5726	0.3846

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T=0.2 detik		Respon Spektra T=1 detik	
		2%	10%	2%	10%	2%	10%
131.4760	-0.8200	0.7954	0.5331	1.948	1.4968	0.6589	0.4423
131.5770	-0.8080	0.8874	0.5972	1.9901	1.6596	0.6957	0.4796
131.6420	-1.0780	0.5931	0.3801	1.6897	0.8971	0.4978	0.3447
131.4860	-1.0000	0.5486	0.3756	1.5665	0.7907	0.4896	0.3485
131.4080	-0.9010	0.6752	0.4611	1.8615	1.0778	0.5946	0.3918
131.1800	-1.1590	0.4312	0.297	0.9903	0.6823	0.4001	0.2904
131.2330	-1.1330	0.4474	0.3023	1.015	0.6919	0.418	0.2938
131.2160	-1.1820	0.3983	0.2897	0.9614	0.6569	0.3948	0.2854
131.2350	-1.1280	0.4516	0.3072	1.0552	0.6948	0.4216	0.2946
131.2230	-1.1530	0.4294	0.2967	0.9878	0.68	0.4032	0.2906
131.2390	-1.1880	0.3953	0.2874	0.9521	0.6488	0.3935	0.284
131.1220	-0.5190	0.9844	0.6788	2.2968	1.8012	0.7838	0.5243
131.1550	-0.5200	0.9922	0.6852	2.3623	1.8171	0.8015	0.5371
131.1330	-0.5430	0.9973	0.6937	2.549	1.8678	0.8432	0.5677
131.2020	-0.5490	1.1581	0.7343	2.6724	1.9005	0.8805	0.5946
131.1450	-0.5590	1.1340	0.733	2.6997	1.9093	0.8851	0.5981
131.1130	-0.5790	1.2376	0.7726	2.7861	1.9341	0.9116	0.6161
131.1800	-0.6110	1.6162	0.9076	2.95	2.12	0.99	0.679
131.1230	-0.6510	1.7273	0.953	2.5	2.4254	1.2121	0.7191
131.1160	-0.6130	1.5901	0.8961	2.9939	2.059	0.9843	0.6724
131.1310	-0.3440	1.6933	0.8804	2.6046	1.779	0.8533	0.5408
131.1920	-0.3110	1.7552	0.9182	2.6994	1.8152	0.9117	0.5931
131.1710	-0.3610	1.6787	0.874	2.5866	1.7801	0.852	0.5423
131.2790	-0.3690	1.7600	0.9198	2.7326	1.8398	0.8891	0.5772
131.2100	-0.3750	1.6729	0.8723	2.5853	1.7869	0.8535	0.5461
131.1490	-0.3820	1.5628	0.8151	2.4087	1.7295	0.8141	0.5131
131.2740	-0.3940	1.6785	0.8777	2.6142	1.8089	0.8613	0.5566
131.2150	-0.4040	1.5612	0.8184	2.435	1.7543	0.8228	0.5257
131.1630	-0.4290	1.3293	0.7145	2.1573	1.6945	0.7684	0.4966
131.2010	-0.4510	1.2795	0.7027	2.1849	1.7244	0.7751	0.5011
131.2190	-0.4250	1.4652	0.7765	2.335	1.7409	0.8037	0.5156
131.2590	-0.4280	1.5199	0.804	2.428	1.7718	0.8226	0.5317
131.2320	-1.1040	0.4726	0.3316	1.2567	0.7498	0.439	0.2987
131.2850	-1.1880	0.3917	0.2846	0.9391	0.6373	0.3931	0.283
131.2480	-1.1480	0.4283	0.2965	0.9861	0.6784	0.4056	0.2909
131.1830	-1.1470	0.4430	0.2995	0.9991	0.6901	0.4098	0.2924
131.1800	-1.1760	0.4114	0.2931	0.9759	0.6696	0.3965	0.2873
131.2180	-1.1890	0.3966	0.2884	0.9568	0.653	0.3935	0.2843

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T=0.2 detik		Respon Spektra T=1 detik	
		2%	10%	2%	10%	2%	10%
131.0470	-0.5270	0.9632	0.6627	2.176	1.7712	0.7504	0.4995
131.0090	-0.5030	0.9458	0.6433	1.9907	1.6838	0.6962	0.4842
130.9990	-0.4810	0.9437	0.6353	1.9758	1.6062	0.6895	0.4742
131.0750	-0.4920	0.9704	0.6608	1.9963	1.7033	0.7097	0.4906
131.0470	-0.5010	0.9599	0.6545	1.9962	1.7077	0.7026	0.4896
131.0180	-0.5020	0.9494	0.646	1.9919	1.689	0.6972	0.4854
131.0790	-0.4850	0.9737	0.6617	1.9939	1.6888	0.7048	0.489
131.0580	-0.4820	0.9674	0.6556	1.9888	1.6647	0.6977	0.4849
131.0150	-0.4850	0.9496	0.6415	1.9814	1.6343	0.6925	0.4785
131.0770	-0.4790	0.9753	0.6615	1.9914	1.6736	0.6998	0.4871
131.0440	-0.4680	0.9689	0.6531	1.9815	1.6211	0.6946	0.4794
131.0180	-0.4620	0.9621	0.6455	1.9739	1.582	0.6906	0.4735
131.0860	-0.4590	0.9897	0.6689	1.9893	1.645	0.6999	0.4851
131.0510	-0.4480	0.9856	0.6627	1.9811	1.5981	0.6958	0.4783
131.0310	-0.4480	0.9779	0.6558	1.9759	1.576	0.6929	0.4746
131.1660	-1.3420	0.3195	0.2347	0.7436	0.4953	0.3551	0.2529
131.2010	-1.3590	0.2998	0.2207	0.6971	0.4827	0.3505	0.2484
131.2530	-1.3910	0.2972	0.2064	0.6894	0.4707	0.3471	0.2452
131.1390	-1.3730	0.2996	0.2205	0.6978	0.4843	0.3454	0.2457
131.1970	-1.3870	0.2958	0.2029	0.6852	0.4684	0.342	0.2416
131.2520	-1.4120	0.2940	0.1989	0.6798	0.4589	0.3407	0.2401
131.1310	-1.3910	0.2965	0.2069	0.6899	0.4749	0.3391	0.241
131.1820	-1.4320	0.2923	0.198	0.676	0.4554	0.3309	0.2338
131.1350	-1.4780	0.2820	0.1925	0.6459	0.4228	0.3093	0.2178
131.2230	-1.5120	0.2756	0.1883	0.6264	0.3985	0.3061	0.214
131.1780	-1.5110	0.2772	0.1893	0.632	0.4024	0.3023	0.2119
131.1360	-1.4990	0.2775	0.19	0.6327	0.4072	0.3013	0.2117

Data Percepatan Tanah di Permukaan Tanah

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T= 0.2 detik		Respon Spektra T = 1 detik	
		2%	10%	2%	10%	2%	10%
131.2883	-0.8819	1.6158	0.8349	2.6386	1.8711	0.9363	0.6211
131.2952	-0.87	1.6762	0.859	2.7007	1.8814	0.8885	0.5807
131.2979	-0.8822	1.6239	0.8387	2.631	1.8694	0.9501	0.6326
131.3053	-0.8753	1.6478	0.8361	2.64	1.857	0.8508	0.5484
131.3115	-0.8815	1.6428	0.8499	2.6243	1.8707	0.9824	0.661
131.3341	-0.8719	1.6993	0.8626	2.669	1.8615	0.8758	0.5658
131.3524	-0.8881	1.6217	0.8099	2.528	1.8114	0.8422	0.536
131.3534	-0.8997	1.5515	0.7721	2.4308	1.7878	0.8605	0.5522
131.3243	-0.9033	1.5154	0.7857	2.4201	1.8216	0.9907	0.6702
131.307	-0.9126	1.4386	0.7638	2.3403	1.8154	1.0892	0.6877
131.3092	-0.9639	0.9925	0.6642	1.9858	1.6672	0.921	0.61
131.3535	-0.9769	1.4741	0.7099	2.0949	1.6691	0.8156	0.5131
131.3931	-0.9583	1.6016	0.7797	2.2862	1.7029	0.8016	0.4986
131.435	-0.9696	1.489	0.696	2.0383	1.5726	0.6711	0.4312
131.4022	-1.0086	1.1237	0.6433	1.9583	1.4258	0.6726	0.4412
131.3716	-1.0138	1.0863	0.6456	1.9613	1.4668	0.6909	0.4659
131.3561	-0.9998	1.2415	0.6628	1.9745	1.5032	0.6731	0.4421
131.3215	-1.0014	0.9431	0.6213	1.955	1.5277	0.8587	0.5588
131.3233	-1.0323	0.9782	0.6079	1.9324	1.3241	0.6398	0.4037
131.3808	-1.0414	0.9662	0.6102	1.9342	1.371	0.716	0.4831
131.4145	-1.0339	0.9753	0.605	1.9338	1.3277	0.6676	0.4349
131.4551	-1.0646	0.9201	0.5674	1.9077	1.2417	0.7	0.4767
131.4915	-1.0688	0.9178	0.5849	1.91	1.2789	0.8253	0.5265
131.4312	-1.0892	0.8689	0.523	1.8771	1.1043	0.6902	0.4657
131.2431	-0.8344	1.8331	0.9695	2.9548	1.9828	1.2989	0.7294
131.4151	-0.764	2.9772	1.9182	2.9548	2.8907	1.3076	0.693
131.3308	-0.8156	1.9414	1.1467	2.9548	1.9879	0.9687	0.6459
131.4023	-0.8217	1.9747	1.2543	2.9548	1.969	0.9192	0.5863
131.5417	-0.7408	1.9747	1.2543	2.9548	1.969	1.9998	1.587
131.6437	-0.803	2.9996	1.9372	2.9548	2.8983	1.4686	0.752
131.8602	-0.9981	1.1997	0.6711	2.2218	1.6424	0.7781	0.4736
131.8826	-0.8076	2.9308	1.8781	2.2218	2.7601	1.0436	0.6329

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T= 0.2 detik		Respon Spektra T = 1 detik	
		2%	10%	2%	10%	2%	10%
131.9436	-1.0661	0.878	0.5111	1.8956	1.1047	0.6136	0.3843
132.2998	-0.8846	1.8334	0.9594	2.9665	1.9522	0.9831	0.6248
132.6506	-0.9835	1.0427	0.6083	1.9329	1.1874	0.6291	0.3844
132.6196	-1.1985	0.6441	0.3807	1.457	0.7501	0.4742	0.3088
132.6337	-1.3003	0.5347	0.3356	1.0747	0.6681	0.4534	0.2965
132.4662	-1.2603	0.61	0.3752	1.4736	0.7803	0.4984	0.3418
132.1949	-1.2367	0.6067	0.3737	1.4554	0.772	0.4773	0.317
132.0564	-1.3381	0.4949	0.3256	1.0721	0.675	0.4507	0.2965
130.8577	-0.9282	1.2083	0.7435	2.752	1.9229	0.8978	0.5995
130.638	-0.9338	1.6954	0.9418	2.752	2.3343	1.2194	0.7186
130.6807	-1.0226	0.9986	0.7064	2.6329	1.9134	0.9434	0.6394
130.7375	-0.9936	0.983	0.6819	2.5453	1.8727	0.841	0.5568
130.8691	-1.0456	0.8856	0.6012	1.9795	1.6562	0.7581	0.4948
130.7356	-1.1843	0.6341	0.4217	1.8033	0.9846	0.4832	0.3515
131.0507	-1.2374	0.4848	0.3337	1.1657	0.7103	0.4079	0.2917
130.848	-1.3162	0.5023	0.372	1.5461	0.8853	0.4982	0.3604
131.637	-1.1355	0.7666	0.4839	1.8461	0.9942	0.693	0.4607
132.6139	-1.3445	0.5293	0.3505	1.1802	0.6894	0.5371	0.3574
131.0441	-0.9328	1.0973	0.6935	2.5096	1.8526	0.8855	0.5862
131.0153	-0.5981	1.0973	2.959	2.5096	1.8526	1.7994	0.9431
132.3208	-0.6359	1.0973	2.959	2.5096	1.8526	1.8473	0.9698
132.7562	-0.6909	1.0973	2.959	2.5096	1.8526	2.9386	1.9634
132.6902	-1.2151	0.6183	0.3608	1.2204	0.6769	0.4534	0.2946
130.3354	-0.7637	0.8962	0.5963	1.9782	1.6559	0.6601	0.4435
130.3515	-1.3058	0.6933	0.4951	1.9384	1.5233	0.572	0.3909
130.0219	-0.5809	0.4799	0.3499	1.2681	0.7758	0.4848	0.3401
130.0165	-0.8225	0.8454	0.588	1.984	1.7055	0.6653	0.4585
130.0384	-1.1905	1.8281	0.9992	1.984	2.6928	1.5655	0.8695
132.4165	-1.46	0.4741	0.2986	0.9981	0.6586	0.4795	0.3139
132.124	-1.4533	0.4793	0.2974	1.0858	0.6565	0.4543	0.2955
131.7576	-1.4869	0.4197	0.2892	0.9503	0.634	0.4897	0.3364
131.4113	-1.497	0.3782	0.2605	0.8127	0.5061	0.3636	0.2559
130.9776	-1.5003	0.3448	0.2467	0.7726	0.5079	0.3456	0.2477
130.6683	-1.4466	0.3953	0.2909	0.9643	0.6722	0.3686	0.2703
130.3086	-1.4298	0.5773	0.3921	1.7266	0.9545	0.4551	0.3215

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T= 0.2 detik		Respon Spektra T = 1 detik	
		2%	10%	2%	10%	2%	10%
132.4542	-1.7348	0.4019	0.2637	0.9381	0.5531	0.4402	0.2881
132.2098	-1.7293	0.3796	0.2589	0.8814	0.5402	0.4783	0.3072
131.9955	-1.7458	0.3159	0.2055	0.6913	0.454	0.3841	0.2633
131.6797	-1.7486	0.2852	0.1878	0.6066	0.3825	0.2944	0.1952
131.3309	-1.7705	0.287	0.1902	0.6278	0.393	0.2941	0.1958
131.1156	-1.7431	0.2858	0.1912	0.6385	0.4007	0.2871	0.1915
130.7229	-1.7321	0.2955	0.1996	0.6864	0.4702	0.2962	0.1986
130.1104	-1.7376	0.4469	0.3013	1.1515	0.7121	0.4141	0.2896
131.4287	-1.29	0.5444	0.3621	1.3323	0.7648	0.5141	0.3587
131.6265	-1.323	0.5693	0.3761	1.4692	0.8194	0.6296	0.3963
132.4147	-2.078	0.2952	0.1936	0.6769	0.4177	0.4301	0.2822
132.1264	-2.1191	0.2468	0.1543	0.4994	0.3142	0.2609	0.1617
131.8929	-2.1191	0.2675	0.1659	0.5838	0.345	0.2735	0.1712
131.5056	-2.1274	0.2701	0.1713	0.6002	0.3625	0.2776	0.1784
131.4122	-2.0725	0.2724	0.1748	0.605	0.3688	0.2794	0.1811
131.0057	-2.056	0.2906	0.1888	0.6704	0.4034	0.2915	0.1911
130.6185	-1.9956	0.3041	0.1984	0.7148	0.4617	0.2989	0.1978
130.0005	-2.0286	0.3904	0.2729	0.9486	0.6187	0.3737	0.2603
132.4264	-2.278	0.2009	0.1278	0.4523	0.2856	0.2351	0.1396
131.9786	-2.2939	0.2668	0.1618	0.5923	0.3418	0.2735	0.1691
131.3869	-2.2939	0.2982	0.1918	0.693	0.421	0.2934	0.1897
131.115	-2.3139	0.3605	0.2276	0.8591	0.4929	0.3237	0.1995
130.8551	-2.3099	0.3945	0.2634	0.9523	0.5869	0.3597	0.2335
130.5313	-2.3099	0.4653	0.2922	1.2166	0.6734	0.3933	0.2664
130.1555	-2.3139	0.6655	0.3952	1.8267	0.953	0.5586	0.3393
129.8356	-2.2859	0.6002	0.372	1.6924	0.8839	0.482	0.3052
129.4041	-2.2201	0.5747	0.3593	1.6355	0.848	0.4732	0.2985
129.1465	-2.3739	0.8813	0.5317	2.0152	1.5506	0.6964	0.4312
129.3897	-2.0632	0.4654	0.2988	1.2428	0.6925	0.3993	0.2815
129.6441	-1.9558	0.4269	0.2921	0.9918	0.6693	0.3994	0.2818
129.8364	-1.7128	0.4847	0.3347	1.4137	0.788	0.4285	0.2926
129.5084	-1.5772	0.9267	0.6154	2.2393	1.7219	0.7536	0.4815
129.2992	-1.5659	1.3613	0.7796	2.8802	1.9409	0.965	0.6269
129.548	-1.4924	1.4467	0.8138	2.926	1.9591	0.9822	0.6425
129.2822	-1.4076	0.9685	0.6553	2.5006	1.8067	0.8408	0.5211

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T= 0.2 detik		Respon Spektra T = 1 detik	
		2%	10%	2%	10%	2%	10%
129.6385	-1.3115	0.9984	0.6944	2.6937	1.9037	0.8914	0.5941
129.9381	-1.1702	1.8976	1.3408	2.6937	2.8677	1.7314	0.9427
129.5763	-1.0967	1.775	0.9722	2.6937	2.5226	1.4469	0.7936
129.2971	-1.0298	0.6258	0.3966	1.7723	0.9551	0.4961	0.3475
129.1839	-0.9505	0.5314	0.3543	1.561	0.8329	0.4649	0.2986
129.4707	-0.8713	0.678	0.4625	1.8888	1.2035	0.5682	0.3814
129.7613	-0.7883	0.6519	0.4371	1.7863	0.9748	0.4968	0.3597
129.9462	-0.7279	0.6445	0.4379	1.837	0.9996	0.518	0.3765
129.6896	-0.709	0.5033	0.3662	1.4435	0.8311	0.4261	0.2953
129.2896	-0.6977	0.4886	0.349	1.4419	0.8167	0.4095	0.2914
129.1738	-0.4366	0.3563	0.2523	0.8302	0.5331	0.3259	0.2235
129.4879	-0.3581	0.4056	0.2902	0.8996	0.6093	0.3855	0.269
129.5895	-0.2657	0.3715	0.2678	0.7758	0.512	0.3321	0.2324
129.5063	-0.6537	0.412	0.2924	0.9839	0.6744	0.4047	0.2841
129.6357	-0.9493	0.8865	0.602	1.9965	1.7085	0.6819	0.4655
129.7465	-0.4504	0.4778	0.3334	0.9873	0.6861	0.3969	0.2848
129.9729	-0.3765	0.3989	0.2916	0.8937	0.6133	0.3758	0.2668
130.2454	-0.4089	0.5577	0.3754	0.9769	0.6665	0.5893	0.376
130.4764	-0.3858	0.9524	0.5976	1.9077	1.1733	0.6614	0.4242
130.6796	-0.5428	2.5	1.6064	1.9077	2.233	0.9296	0.5681
130.7951	-0.4042	2.5	2.9085	1.9077	2.233	1.6358	0.8124
130.9522	-0.5243	2.5	2.9085	1.9077	2.233	2.8548	1.8955
131.3335	-0.4735	2.286	1.5491	1.9077	2.2358	0.9861	0.6557
131.5111	-0.3581	1.8827	1.0335	2.9619	1.9673	1.1783	0.6964
131.6358	-0.3396	1.8697	0.9996	2.9536	1.957	1.0895	0.6858
131.9129	-0.4828	1.9271	1.2249	2.9536	1.9998	0.9801	0.6569
132.1393	-0.3719	1.8404	0.9771	2.8785	1.9237	0.9642	0.6377
132.3933	-0.238	1.563	0.8293	2.5975	1.8139	0.8763	0.5466
132.5827	-0.4089	1.9096	1.1262	2.5975	2	1.0263	0.6671
132.5319	0.2009	0.635	0.3955	1.5124	0.7743	0.5986	0.376
132.2732	0.0715	0.9358	0.6151	1.8813	1.0069	0.8515	0.5073
131.9083	0.0207	1.8957	1.2379	2.6513	1.8561	1.8232	0.9632
131.7374	0.1454	1.7326	0.9418	1.984	1.5772	1.5781	0.8317
131.5111	0.0022	2.7047	1.8801	1.984	2.5243	2.7118	1.7513
131.2709	-0.1179	1.8109	0.9817	2.5169	1.8058	1.5151	0.807

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T= 0.2 detik		Respon Spektra T = 1 detik	
		2%	10%	2%	10%	2%	10%
131.16	-0.0162	1.8802	1.1877	2.624	1.8534	1.7672	0.9343
130.9568	-0.1086	1.8214	0.9705	2.6957	1.8135	0.9987	0.6656
130.8136	0.0346	1.6697	0.8964	2.0539	1.6124	1.2336	0.6784
130.6334	0.0715	1.6927	0.9167	1.9775	1.5287	1.4778	0.7689
130.4117	0.1824	0.5879	0.3704	0.877	0.539	0.5828	0.3579
130.6406	-0.0587	1.1496	0.6841	1.8958	1.0473	0.9256	0.5825
130.3687	0.05	0.5477	0.3563	0.8958	0.5647	0.5408	0.3422
130.1318	-0.0743	0.3492	0.2317	0.6354	0.3915	0.396	0.2671
129.8754	0.0966	0.4607	0.3045	0.9296	0.6273	0.4016	0.2809
129.7278	-0.0898	0.3865	0.2758	0.77	0.498	0.3519	0.2412
129.4987	0.0306	0.349	0.2454	0.6876	0.4674	0.3478	0.2306
129.4054	0.1238	0.2927	0.1952	0.6181	0.3916	0.297	0.1955
129.3394	-0.0238	0.2926	0.1952	0.6262	0.3946	0.2952	0.1942
129.2423	-0.1636	0.2932	0.1954	0.6463	0.4067	0.2927	0.1933
129.3764	0.1887	0.2878	0.1913	0.5927	0.3804	0.2931	0.1918
129.684	0.134	0.3532	0.2513	0.6803	0.4586	0.3267	0.2166
129.457	-0.181	0.36	0.2561	0.7214	0.49	0.3519	0.2382
129.787	-0.25	0.474	0.3203	0.9569	0.655	0.3962	0.2803
130.343	-0.179	0.7569	0.4967	1.2126	0.6932	0.7279	0.4731
130.241	0.179	0.4273	0.2855	0.6806	0.4397	0.4689	0.2948
130.204	-0.29	0.6077	0.3926	0.9339	0.6196	0.6435	0.3976
130.782	-0.164	1.6884	0.8657	2.4978	1.7041	0.8874	0.5567
131.012	-0.365	2.0495	1.4128	2.4978	1.9698	0.9339	0.5868
131.085	0.167	2.5817	1.8319	2.4978	2.4004	2.5843	1.68
131.54	0.149	1.8621	1.1073	2.4522	1.7929	1.7748	0.9416
131.79	-0.153	1.9373	1.4382	2.8332	1.9318	1.878	1.0261
129.169	0.165	0.2782	0.1785	0.5459	0.3495	0.2734	0.1747
129.166	0.019	0.2826	0.1842	0.5833	0.3705	0.281	0.1824
129.986	-0.146	0.7174	0.4702	1.6562	0.9049	0.498	0.3362
130.106	0.142	0.4428	0.2983	0.7873	0.5147	0.4069	0.2755
130.691	-0.266	1.9468	1.1408	2.9356	1.8894	0.8803	0.528
130.777	0.194	1.6118	0.852	1.9732	1.4746	1.3319	0.6772
131.065	-0.203	1.8363	0.9733	2.8013	1.8715	0.9859	0.6624
131.314	0.082	2.9346	1.9613	2.8013	2.6309	2.8787	1.8201
131.522	-0.218	1.8408	0.9939	2.7228	1.8758	1.3927	0.7572

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T= 0.2 detik		Respon Spektra T = 1 detik	
		2%	10%	2%	10%	2%	10%
131.675	-0.049	2.6441	1.858	2.7228	2.4681	2.6395	1.7168
132.027	0.179	0.9918	0.6765	1.845	0.9843	0.9497	0.6093
132.287	0.205	0.7273	0.4815	1.5424	0.8065	0.6896	0.4442
132.15	-0.046	1.6667	0.8944	2.5297	1.7783	1.4269	0.7137
132.013	-0.198	1.9101	1.2747	2.8606	1.9347	1.8016	0.9349
132.236	-0.109	1.6484	0.895	2.9059	1.9192	1.2655	0.6817
132.504	0.037	0.8689	0.5415	1.932	1.223	0.6934	0.4497
132.633	-0.123	1.5567	0.837	2.9564	1.9501	0.9798	0.6076
132.721	0.197	0.5909	0.372	1.4826	0.7495	0.5147	0.3453
130.337	-0.97	1.881	1.2853	1.4826	2.8487	1.5973	0.8925
131.042	-0.661	2.8999	1.8804	1.4826	2.9549	1.6297	0.8716
132.713	-2.352	0.1952	0.1233	0.4152	0.2754	0.2603	0.169
131.142	-0.493	0.1952	2.5797	0.4152	0.2754	1.6134	0.8059
131.077	-0.536	0.1952	2.5797	0.4152	0.2754	2.7089	1.8324
131.553	0.204	1.7161	0.9354	1.9762	1.5434	1.5587	0.8258
129.132	0.505	0.3005	0.1963	0.6314	0.3891	0.2785	0.1791
129.281	0.319	0.2723	0.1753	0.5116	0.3364	0.2774	0.1776
129.389	0.456	0.272	0.1775	0.5046	0.3364	0.2819	0.1803
129.532	0.356	0.2991	0.2004	0.6402	0.4015	0.324	0.2016
129.669	0.468	0.3292	0.2306	0.6687	0.4406	0.3639	0.2375
129.852	0.336	0.3618	0.2563	0.6796	0.4514	0.3572	0.2368
130.1	0.525	0.4435	0.2985	0.9041	0.6088	0.4516	0.2925
130.234	0.388	0.39	0.2662	0.6143	0.3808	0.4493	0.2866
130.374	0.545	0.4265	0.2829	0.7165	0.3852	0.4763	0.2966
130.531	0.416	0.6383	0.3925	1.0162	0.5561	0.6254	0.3773
130.706	0.502	1.391	0.7873	1.9662	0.9961	1.1081	0.6737
130.925	0.388	1.3193	0.7264	1.9618	0.9836	0.9973	0.6433
131.24	0.602	0.6979	0.4799	1.3458	0.6306	0.7	0.4617
131.439	0.419	0.9513	0.6483	1.8164	0.8463	0.9225	0.5923
131.308	0.251	1.7716	0.9618	2.5871	1.6335	1.6356	0.8614
131.602	0.568	0.6775	0.4615	1.2142	0.6158	0.6903	0.454
131.779	0.411	0.843	0.5615	1.756	0.7764	0.823	0.5032
131.956	0.559	0.5997	0.3898	1.0735	0.5763	0.6398	0.3952
132.133	0.348	0.6861	0.4626	1.591	0.6778	0.6845	0.4402
132.313	0.565	0.4461	0.2966	0.9291	0.475	0.4975	0.3322

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T= 0.2 detik		Respon Spektra T = 1 detik	
		2%	10%	2%	10%	2%	10%
132.444	0.376	0.4992	0.3473	1.316	0.6062	0.5462	0.3535
132.547	0.536	0.3919	0.2757	0.9369	0.4713	0.4578	0.2951
132.656	0.394	0.4422	0.2924	1.1934	0.5676	0.4694	0.2995
132.736	0.553	0.3601	0.2449	0.9119	0.4492	0.4014	0.2796
129.169	1.105	0.3159	0.1855	0.7278	0.3464	0.2881	0.1682
129.326	1.022	0.2922	0.1881	0.6842	0.3647	0.2619	0.1608
129.512	1.102	0.252	0.1473	0.589	0.2863	0.2474	0.1381
129.778	1.016	0.2632	0.1752	0.6141	0.3269	0.2958	0.1893
130.052	1.102	0.3026	0.2146	0.7265	0.4176	0.3244	0.2119
130.177	1.05	0.2894	0.1955	0.6664	0.379	0.3533	0.2293
130.526	0.945	0.3262	0.2142	0.607	0.3004	0.3994	0.2707
130.697	1.087	0.4423	0.2977	0.7354	0.3915	0.5255	0.3464
131.014	0.868	0.4821	0.3284	0.8272	0.421	0.559	0.356
131.134	1.027	0.3699	0.2585	0.6462	0.3387	0.4597	0.2942
131.339	0.81	0.491	0.3454	0.8635	0.447	0.5851	0.3696
131.551	1.022	0.3536	0.2514	0.6404	0.3395	0.4567	0.2946
131.651	0.839	0.4425	0.2986	0.8577	0.438	0.5279	0.3495
131.831	1.022	0.3174	0.2276	0.6534	0.343	0.4333	0.2874
132.01	0.848	0.3768	0.2686	0.715	0.3864	0.4709	0.2999
132.196	1.025	0.2809	0.189	0.5858	0.2973	0.3873	0.2653
132.299	0.868	0.2992	0.2072	0.6608	0.3493	0.4059	0.2787
132.542	1.102	0.2055	0.1437	0.4903	0.2705	0.3287	0.2128
132.713	0.796	0.2831	0.1874	0.6752	0.3498	0.3686	0.2479
129.304	1.196	0.2933	0.1789	0.6827	0.3296	0.2369	0.1277
129.675	1.196	0.2337	0.1409	0.5478	0.2837	0.2613	0.1547
130.117	1.196	0.2964	0.1995	0.6947	0.3984	0.3137	0.2027
130.551	1.196	0.449	0.3122	0.9475	0.5493	0.4972	0.3397
130.905	1.196	0.3434	0.2418	0.6138	0.3114	0.4461	0.2902
131.368	1.196	0.2874	0.193	0.5057	0.2842	0.3946	0.2708
131.739	1.196	0.2765	0.1869	0.5455	0.2888	0.3872	0.2654
132.108	1.196	0.2395	0.1658	0.4861	0.2723	0.3628	0.2432
132.376	1.196	0.1981	0.1358	0.4626	0.2565	0.3304	0.2154
132.593	1.196	0.1915	0.1234	0.4529	0.2453	0.2964	0.1939
132.779	1.196	0.1848	0.1149	0.4439	0.2344	0.2836	0.1817
132.542	0.906	0.2753	0.1837	0.6292	0.3146	0.3723	0.2514

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T= 0.2 detik		Respon Spektra T = 1 detik	
		2%	10%	2%	10%	2%	10%
132.567	0.709	0.3202	0.2181	0.7512	0.3865	0.3981	0.2754
130.985	0.675	0.6655	0.4327	1.0228	0.5641	0.6702	0.4169
130.694	0.72	0.8012	0.5231	1.532	0.6676	0.7866	0.4875
130.8	0.929	0.5174	0.3613	0.8881	0.4556	0.6046	0.3776
130.426	0.778	0.3654	0.2437	0.6399	0.328	0.4314	0.2807
130.075	0.889	0.2913	0.1956	0.6615	0.3686	0.3399	0.2165
129.935	0.695	0.2994	0.211	0.6874	0.3918	0.3374	0.2152
129.772	0.872	0.2873	0.193	0.6717	0.3792	0.3186	0.1985
129.552	0.703	0.267	0.1753	0.6224	0.3257	0.2868	0.1815
129.306	0.852	0.2711	0.1601	0.6319	0.294	0.2333	0.1278
129.301	0.663	0.2671	0.1628	0.6235	0.2972	0.2544	0.148
131.547	-0.877	1.9488	1.1361	0	1.9302	1.3334	0.7279
131.539	-0.907	1.8228	0.9234	0	1.8246	0.905	0.5729
131.609	-0.932	1.6178	0.7748	2.8246	1.6866	0.8232	0.4979
131.541	-0.991	1.1853	0.6544	2.4325	1.49	0.7701	0.489
131.472	-0.926	1.7667	0.8815	2.95	1.7684	0.7573	0.4797
131.528	-0.842	2.5347	1.6603	2.95	2.267	0.9624	0.6056
131.608	-0.879	1.9096	0.9884	2.95	1.8898	0.9748	0.6388
131.646	-0.972	1.2873	0.6593	2.5501	1.4628	0.6743	0.4263
131.587	-1.04	0.9811	0.6414	2.4715	1.5848	0.9167	0.5672
131.434	-0.909	1.8659	0.96	2.4715	1.8558	0.8773	0.5498
131.476	-0.82	2.94	1.9039	2.4715	2.8	1.0647	0.6302
131.577	-0.808	2.9561	1.908	2.4715	2.8417	1.2546	0.6804
131.642	-1.078	0.9051	0.5664	1.9976	1.3301	0.8096	0.4938
131.486	-1	1.161	0.6445	2.384	1.4279	0.6757	0.4407
131.408	-0.901	1.9056	0.9915	2.384	1.892	0.8897	0.5598
131.18	-1.159	0.5905	0.3775	1.7667	0.8299	0.4555	0.3065
131.233	-1.133	0.6717	0.4446	1.9111	0.9675	0.625	0.3981
131.216	-1.182	0.6552	0.4391	1.8938	0.9604	0.6701	0.4483
131.235	-1.128	0.6791	0.4559	1.9226	0.9793	0.6499	0.4223
131.223	-1.153	0.661	0.4355	1.9007	0.9607	0.6358	0.4063
131.239	-1.188	0.6641	0.4534	1.9012	0.9689	0.6895	0.4722
131.122	-0.519	0.6641	0.4534	1.9012	0.9689	1.8973	1.0449
131.155	-0.52	0.6641	0.4534	1.9012	0.9689	1.8281	0.9548
131.133	-0.543	0.6641	0.4534	1.9012	0.9689	2.1504	1.606

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T= 0.2 detik		Respon Spektra T = 1 detik	
		2%	10%	2%	10%	2%	10%
131.202	-0.549	0.6641	0.4534	1.9012	0.9689	1.9372	1.2569
131.145	-0.559	0.6641	0.4534	1.9012	0.9689	2.7758	1.8667
131.113	-0.579	0.6641	0.4534	1.9012	0.9689	2.7701	1.8613
131.18	-0.611	0.6641	0.4534	1.9012	0.9689	2.3638	1.7095
131.123	-0.651	0.6641	2.4811	1.9012	0.9689	1.7743	0.9435
131.116	-0.613	0.6641	2.4811	1.9012	0.9689	1.915	1.1722
131.131	-0.344	1.9183	1.1006	1.9012	1.9188	0.9278	0.6006
131.192	-0.311	1.8786	0.9971	1.9012	1.9038	0.9597	0.6411
131.171	-0.361	1.9245	1.1257	1.9012	1.9257	0.9308	0.6045
131.279	-0.369	1.9092	1.085	1.9012	1.9309	0.9408	0.6205
131.21	-0.375	1.9273	1.138	1.9012	1.931	0.9334	0.6085
131.149	-0.382	1.9639	1.2649	1.9012	1.9473	0.935	0.6024
131.274	-0.394	1.9265	1.141	1.9012	1.939	0.938	0.616
131.215	-0.404	1.9682	1.2857	1.9012	1.9568	0.9412	0.6117
131.163	-0.429	2.4542	1.6083	1.9012	2.2018	0.9729	0.6283
131.201	-0.451	2.6173	1.696	1.9012	2.3949	0.989	0.6441
131.219	-0.425	2.0716	1.4338	1.9012	1.9866	0.9549	0.6207
131.259	-0.428	1.9878	1.3633	1.9012	1.9764	0.9516	0.6223
131.232	-1.104	0.6599	0.4065	1.8624	0.9095	0.4828	0.3385
131.285	-1.188	0.6775	0.4515	1.8958	0.9562	0.6649	0.4415
131.248	-1.148	0.6872	0.478	1.9315	0.9938	0.7095	0.4863
131.183	-1.147	0.607	0.3834	1.7917	0.8508	0.4619	0.3144
131.18	-1.176	0.5654	0.3683	1.7269	0.7965	0.4459	0.299
131.218	-1.189	0.6511	0.4349	1.8893	0.9569	0.6684	0.4463
131.047	-0.527	0.601	0.3333	0	0.8849	2.6609	1.8109
131.009	-0.503	0.601	0.3333	0	0.8849	2.1082	1.5858
130.999	-0.481	0.601	0.3333	0	0.8849	1.8889	0.9986
131.075	-0.492	0.601	0.3333	0	0.8849	1.7911	0.9249
131.047	-0.501	0.601	0.3333	0	0.8849	1.9254	1.176
131.018	-0.502	0.601	0.3333	0	0.8849	1.9932	1.5131
131.079	-0.485	0.601	2.8707	0	0.8849	1.7147	0.8698
131.058	-0.482	0.601	2.9338	0	0.8849	1.7444	0.8888
131.015	-0.485	0.601	2.9338	0	0.8849	1.8807	0.9922
131.077	-0.479	0.601	2.742	0	0.8849	1.6612	0.8322
131.044	-0.468	0.601	2.7205	0	0.8849	1.6472	0.8203

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T= 0.2 detik		Respon Spektra T = 1 detik	
		2%	10%	2%	10%	2%	10%
131.018	-0.462	0.601	2.7585	0	0.8849	1.6608	0.8275
131.086	-0.459	0.601	2.0098	0	0.8849	1.4057	0.6926
131.051	-0.448	0.601	1.9997	0	0.8849	1.3908	0.6889
131.031	-0.448	0.601	2.2243	0	0.8849	1.4588	0.699
131.166	-1.342	0.483	0.3462	1.6401	0.7692	0.5564	0.3764
131.201	-1.359	0.4885	0.3464	1.618	0.7452	0.5436	0.372
131.253	-1.391	0.4844	0.3449	1.6077	0.7396	0.5977	0.3882
131.139	-1.373	0.4685	0.3306	1.5782	0.7288	0.5393	0.3712
131.197	-1.387	0.4746	0.3298	1.5466	0.6991	0.5258	0.3666
131.252	-1.412	0.4581	0.3039	1.4541	0.6833	0.4947	0.3495
131.131	-1.391	0.47	0.3365	1.5893	0.7446	0.5827	0.385
131.182	-1.432	0.4562	0.3087	1.4741	0.6893	0.5191	0.3631
131.135	-1.478	0.3545	0.2484	0.9171	0.4967	0.353	0.2506
131.223	-1.512	0.3872	0.2764	0.9858	0.6003	0.4186	0.2914
131.178	-1.511	0.3663	0.2536	0.9251	0.4964	0.3533	0.2501
131.136	-1.499	0.3448	0.2408	0.8996	0.4893	0.3482	0.2469